BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE
BLASERNA ET HELMHOLTZ
LE SON
ET
LA MUSIQUE

524 BROADWAY
B. Westermann & Co.
NEW-YORK

29.6.7

BIBLIOTHÈQUE

SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

XXIV

BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

Volumes in-8° reliés en toile anglaise. — Prix : 6 fr.
Avec reliure d'amateur, tr. sup. dorée, dos et coins en veau. — 10 fr.

VOLUMES PARUS.

J. Tyndall. Les glaciers et les transformations de l'eau, suivis d'une étude de M. *Helmholtz* sur le même sujet, et de la réponse de M. Tyndall. Avec 8 planches tirées à part sur papier teinté et nombreuses figures dans le texte, 2e édition..... 6 fr.

W. Bagehot. Lois scientifiques du développement des nations, dans leurs rapports avec les principes de l'hérédité et de la sélection naturelle, 2e édition..... 6 fr.

J. Marey. La machine animale, locomotion terrestre et aérienne. Avec 117 figures dans le texte, 2e édition..... 6 fr.

A. Bain. L'esprit et le corps considérés au point de vue de leurs relations, suivis d'études sur les *Erreurs généralement répandues au sujet de l'esprit.* Avec figures. 2e édition..... 6 fr.

Pettigrew. La locomotion chez les animaux. Avec 130 fig... 6 fr.

Herbert Spencer. Introduction a la science sociale, 3e édit. 6 fr.

Oscard Schmidt. Descendance et darwinisme. Avec fig., 2e édit. 6 fr.

H. Maudsley. Le crime et la folie. 2e édition..... 6 fr.

P. J. Van Beneden. Les commensaux et les parasites dans le règne animal. Avec 83 figures dans le texte..... 6 fr.

Balfour Stewart. La conservation de l'énergie, suivie d'une étude sur La nature de la force, par *P. de Saint-Robert* 2e édit. 6 fr.

Draper. Les conflits de la science et de la religion. 3e édit. 6 fr.

Léon Dumont. Théorie scientifique de la sensibilité..... 6 fr.

Schutzenberger. Les fermentations. Avec 28 fig. 2e édit.... 6 fr.

Whitney. La vie du langage, 2e édit..... 6 fr.

Cooke et Berkeley. Les champignons. Avec 110 figures.... 6 fr.

Bernstein. Les sens, avec 91 figures dans le texte, 2e édition. 6 fr.

Berthelot. La synthèse chimique. 2e édit..... 6 fr.

Vogel. La photographie et la chimie de la lumière, avec 95 figures dans le texte et un frontispice tiré en photoglyptie, 2e édit. 6 fr.

Luys. Le cerveau et ses fonctions, avec figures. 2e édit. 6 fr.

W. Stanley Jevons. La monnaie et le mécanisme de l'échange. 6 fr.

Fuchs. Les volcans et les tremblements de terre, avec 36 figures dans le texte et une carte en couleurs..... 6 fr.

Général Brialmont. La défense des états et les camps retranchés, avec nombreuses figures et deux planches hors texte. 6 fr.

A. de Quatrefages. L'espèce humaine. 2e édition..... 6 fr.

Blaserna et Helmholtz. Le son et la musique, suivis des causes physiologiques de l'harmonie musicale, avec 50 figures dans le texte. 6 fr.

VOLUMES SUR LE POINT DE PARAITRE.

Rosenthal. Physiologie des muscles et des nerfs.

Brucke. Théorie des arts.

Wurtz. Atome et atomicité.

Secchi. Les étoiles.

Broca. Les primates.

Claude Bernard. Histoire des théories de la vie.

LE SON

ET

LA MUSIQUE

PAR

P. BLASERNA

Professeur à l'université de Rome

SUIVIS DES CAUSES PHYSIOLOGIQUES

DE L'HARMONIE MUSICALE

PAR H. HELMHOLTZ

Professeur à l'université de Berlin

AVEC 50 FIGURES DANS LE TEXTE

PARIS

LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE ET Cie

PROVISOIREMENT 8, PLACE DE L'ODÉON, 8

La librairie sera transférée *108, boulevard Saint-Germain*, le 1er octobre 1877

1877

Tous droits réservés.

8015

PRÉFACE

Les chapitres qui suivent n'ont pas la prétention de donner une description complète des phénomènes sonores ni d'exposer toute l'histoire des lois musicales. Celui qui veut approfondir ce sujet, soit du côté de la science, soit du côté de l'art, doit recourir à des œuvres et à des études spéciales.

Mon but est plus modeste. Suivant l'exemple donné par Helmholtz dans son livre désormais classique « *la Théorie physiologique de la musique*, » j'ai cherché à réunir, sous une forme simple et abordable, deux sujets qui, jusqu'ici, avaient été traités séparément. En effet, le physicien ne se hasarde guère sur le terrain de la musique, et nos artistes ne connaissent pas assez l'importance considérable des lois du son dans un grand nombre de questions musicales.

La science a fait, sous ce rapport, de très-notables progrès dans ces derniers temps. Elle est arrivée à concentrer sous un point de vue unique l'histoire du développement

de la musique, et à fournir pour la critique musicale une base plus large et plus sûre.

Exposer brièvement les principes fondamentaux de cette science et en montrer les plus importantes applications, tel est le but de cet ouvrage. J'espère qu'il sera reçu avec quelque intérêt par tous ceux qui aiment à la fois l'art et la science.

PIERRE BLASERNA.

LE SON ET LA MUSIQUE

CHAPITRE PREMIER

NATURE DU SON.

1. Mouvements périodiques, vibrations. — 2. Vibrations sonores. — 3. Vibrations d'une cloche. — 4. Vibrations des diapasons, méthode graphique. — 5. Vibrations des cordes. — 6. Vibrations des lames et membranes. — 7. Vibrations de l'air dans les tuyaux sonores. — 8. Méthode des flammes manométriques. — 9. Conclusion.

1. Parmi les mouvements innombrables qui existent dans la nature, la physique en étudie avec beaucoup d'attention quelques-uns auxquels elle attache une importance particulière. Ce sont ceux dans lesquels un corps, ou une partie d'un corps, arrive à un point extrême, s'y arrête un instant, revient sur ses pas, refait de nouveau le chemin déjà parcouru, et continue de même, exécutant des mouvements réguliers de va-et-vient dans une période déterminée.

Le pendule nous montre l'exemple le plus simple d'un tel mouvement périodique. Les lois en ont été découvertes par Galilée. Il a trouvé que le mouvement est isochrone, c'est-à-dire que la période dans laquelle s'exécute le va-et-vient est toujours la même pour le même pendule, quelle que soit l'amplitude des oscillations.

En d'autres termes, si nous imprimons à un pendule en repos une faible ou une forte impulsion, l'amplitude des oscillations sera petite ou grande, mais leur durée sera

toujours la même : ce qui s'exprime en disant que la durée des oscillations est indépendante de leur amplitude.

La loi de l'isochronisme du pendule est une loi très-générale dans la nature. Bien qu'elle ne soit pas mathématiquement exacte, elle l'est plus qu'il ne faut pour la plus grande partie des cas que nous aurons à considérer. Tout mouvement périodique de va-et-vient comparable à celui du pendule s'appelle *oscillation*, et, s'il est très-petit et très-rapide, *vibration*. Pour plus de clarté nous appellerons *vibration simple* celle qui suit exactement la loi du pendule; ce sont, en effet, les plus simples de toutes. Au contraire nous appellerons *vibrations composées* celles qui suivent des lois plus compliquées.

Un exemple montrera comment les vibrations peuvent être plus compliquées. Le mouvement du pendule peut se définir ainsi : arrivé à l'extrémité de sa course, le mobile s'arrête un instant, revient en arrière avec une vitesse toujours croissante, laquelle atteint son *maximum* à la position médiane, puis diminue dans la seconde moitié de la course. Par conséquent, pour le pendule, les deux points extrêmes de l'oscillation correspondent à la vitesse zéro, et le point médian à la vitesse *maximum*.

On obtient un exemple de mouvement périodique composé en ajoutant à l'oscillation du pendule d'autres mouvements oscillatoires. Ainsi, supposons que la tige du pendule soit flexible, élastique, et oscille pour son propre compte; supposons de plus que la partie inférieure et pesante du pendule soit une balle élastique qui, sous une impulsion violente, vibre comme une bille sur le billard, c'est-à-dire en se montrant successivement comprimée et allongée : nous aurons alors dans le pendule trois mouvements vibratoires réunis, lesquels donneront un mouvement *composé* évidemment plus compliqué que notre premier type.

Un autre exemple de mouvement composé, c'est celui que nous présente le joueur de ballon; il chasse le ballon

verticalement dans l'air, puis le renvoie sans lui laisser toucher terre. Ici le mouvement est différent de celui du pendule. Le ballon s'élève avec une vitesse décroissante, à peu près comme pour le pendule (mais la vitesse décroît suivant une loi différente); il arrive à s'arrêter, puis il retombe avec une vitesse toujours croissante, s'arrête brusquement et repart, renvoyé en l'air par la force musculaire du joueur, au moment où sa vitesse était très-grande et croissait toujours suivant la loi de la chute des corps. Dans ce cas, différent, comme on le voit, de celui du pendule, les deux points extrêmes de la course correspondent, l'un à la vitesse zéro, l'autre à une vitesse très-grande et même à la plus grande vitesse possible.

Il existe dans la nature un très-grand nombre de vibrations de formes variées. Les études dont elles ont été l'objet, l'importance qu'on y a justement attachée, en font une des branches les plus fécondes de la physique contemporaine. Parmi tous ces mouvements vibratoires, je vais choisir un groupe particulier, qui mérite une attention spéciale par la grande facilité qu'il offre à l'étude, et par l'importance considérable de ses applications dans l'histoire de la civilisation humaine.

2. Je vais démontrer que le son est produit par les vibrations des particules des corps. Pour comprendre des vibrations de ce genre, il n'est pas besoin de connaître la structure intime des corps eux-mêmes; il suffit de savoir que les corps se composent de petites particules, et que ces particules ou molécules peuvent s'éloigner les unes des autres, au moins entre certaines limites, sans entraîner la rupture ou la désagrégation du corps.

Ceci est le résultat d'observations de tous les jours; pour l'étude que j'entreprends ici, nous n'avons pas besoin d'aller plus loin, ni de formuler une opinion, forcément plus ou moins hypothétique, sur la structure intime des corps eux-mêmes.

Nous devons cependant, à cette notion, en joindre une autre, celle de l'élasticité des corps. Un corps est dit élastique si les molécules, écartées de leur position d'équilibre naturel, tendent à y revenir aussitôt que cesse la cause extérieure qui les en avait éloignées.

Quand une molécule se trouve dans le cas indiqué, elle fait ce que fait le pendule. A peine redevenue maîtresse de ses mouvements, elle retourne vers la position qu'elle avait auparavant, d'abord avec une faible vitesse, puis avec une rapidité toujours croissante. Arrivée à la position de son équilibre naturel, en vertu de sa propre inertie elle continue pendant un certain temps le mouvement déjà commencé, puis, finalement, s'arrête pour revenir sur ses pas. Elle oscille ainsi autour de sa position d'équilibre naturel, précisément comme le pendule oscille en deçà et au-delà de sa position verticale. Pour ce cas, le calcul démontre que la vibration est simple comme celle du pendule.

Mais dans l'étude des vibrations, auxquelles peut être sujet un corps, ou une partie d'un corps, il ne suffit pas de considérer le mouvement d'une molécule isolée. Le corps est formé d'un très-grand nombre de molécules; chacune d'elles vibrant, il importe de savoir si ces vibrations ont une influence sur les mouvements des molécules voisines. Sous ce rapport, tous les cas sont possibles, suivant les conditions spéciales dans lesquelles se produisent les vibrations, et suivant les causes qui les provoquent. Il arrive souvent que les molécules isolées vibrent chacune pour leur compte, comme si les autres n'existaient pas. Ces vibrations qui s'exécutent en désordre suivant toutes les directions possibles, jouent un très-grand rôle dans les phénomènes de la chaleur et dans d'autres encore; mais elles n'ont pas d'action directe sur le son. Pour que les vibrations soient *sonores*, il faut que les molécules exécutent leurs mouvements avec une certaine régularité d'ensemble.

Les vibrations prennent alors un caractère régulier. Elles peuvent être comparées à la manœuvre à rangs serrés d'une compagnie de soldats, tandis que les vibrations calorifiques ressemblent aux mouvements tout à fait irréguliers d'une foule en désordre.

3. Je veux avant tout bien établir par un certain nombre d'exemples, que le son est toujours accompagné de vibrations des corps sonores. Prenons une cloche métallique renversée, solidement attachée à un pied A (fig. 1).

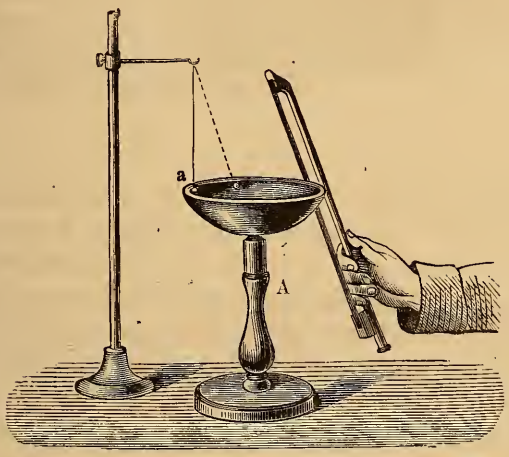


Fig. 1.

Un petit pendule très-léger, *a*, est en contact avec la cloche pour indiquer les mouvements qu'elle peut exécuter à un moment donné. Si j'ébranle cette cloche en la frottant avec un archet, j'obtiens un son bien marqué ; immédiatement le pendule est repoussé, revient sur la cloche, est repoussé de nouveau et ainsi de suite. Le mouvement du pendule dure un certain temps ; il diminue à mesure que le son s'affaiblit, et montre par là que toutes les par-

ties de la cloche se trouvent en état de vibration quand elle résonne.

4. Je prends maintenant un autre exemple. Une espèce de fourchette en acier D, tenue à la main par son pied, peut être facilement mise en vibration (fig. 2). Une fourchette de ce genre s'appelle un *diapason*.

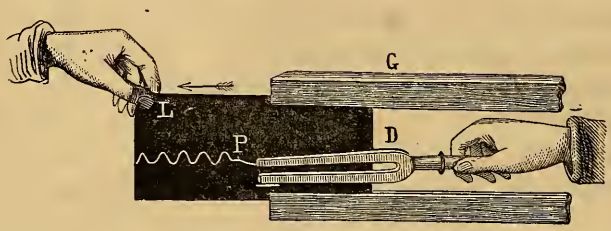


Fig. 2.

On adapte à une de ses extrémités une pointe P. Si je frappe le diapason contre la table, ou si je le frotte avec un archet à l'extrémité d'une de ses branches, j'obtiens un son très-faible qui s'entend à peine. Ce son se renforce d'une manière notable si je mets le pied du diapason en contact avec la tablette, ou mieux encore, avec une caisse vide. Le son peut alors être entendu aisément par tout le monde, et d'ailleurs si on se sert de cet artifice, c'est uniquement pour montrer que le son existe réellement.

Cela posé, il est facile de se convaincre que les deux branches du diapason, lorsqu'il résonne, exécutent un mouvement vibratoire continu. Le mouvement est très-rapide et l'œil ne peut pas le suivre; mais le contour des branches et de la pointe qu'on y a adaptée n'a plus de forme nette et précise, ce qui indique justement le mouvement du diapason.

On constate très-bien un semblable mouvement vibratoire, en approchant le doigt du diapason lui-même. Si je touche les deux branches le mouvement cesse, et, avec

lui, le son. Le son et le mouvement dépendent donc tellement l'un de l'autre, que tous deux sont forts ou faibles en même temps, et que l'un cesse avec l'autre.

Mais les vibrations du diapason peuvent être rendues visibles à tous par la méthode graphique suivante.

Je prends (fig. 2) une lame de verre L, noircie à la fumée d'une flamme de pétrole, et glissant facilement dans les rainures G ; j'applique dessus la pointe du diapason vibrant, et je retire rapidement la lame de façon que la pointe en parcoure successivement une région.

Pour rendre l'expérience encore plus sûre et plus élégante, je prends un cylindre de laiton sur lequel est tendue une feuille de papier noircie à la fumée d'une flamme de

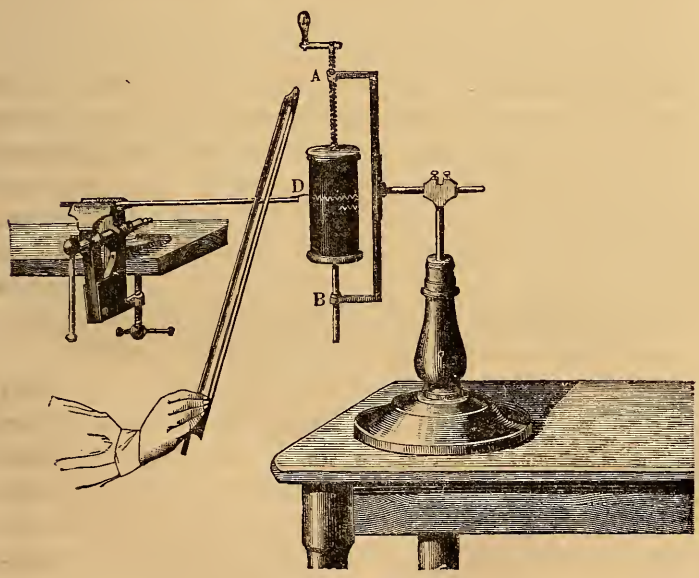


Fig. 3.

pétrole. Le cylindre peut tourner au moyen d'une manivelle ou à l'aide d'un autre mécanisme (fig. 3). J'approche du

cylindre le diapason, de façon que sa pointe D effleure légèrement le papier, et je le fixe solidement dans cette position au moyen d'un écrou. Si le diapason est immobile et que le cylindre tourne, la pointe trace sur le papier une ligne droite.

Si, au contraire, le cylindre restant immobile, le diapason vibre, la pointe trace sur le papier une courte ligne perpendiculaire à la première. Si, enfin, le diapason vibre et qu'en même temps le cylindre tourne, on obtient sur le papier une ligne sinueuse, très-régulière et très-caractéristique, qui représente fort bien le mouvement vibratoire du diapason. Quand celui-ci donne un son fort, les vibrations tracées sur le papier sont très-amples ; plus tard, quand le son s'affaiblit déjà, les vibrations diminuent d'amplitude. Elles deviennent enfin presque invisibles, et se confondent sensiblement avec une ligne droite quand le son est sur le point de s'éteindre.

5. Les vibrations d'une corde peuvent aussi se démontrer fort aisément. Voici une corde métallique tendue sur

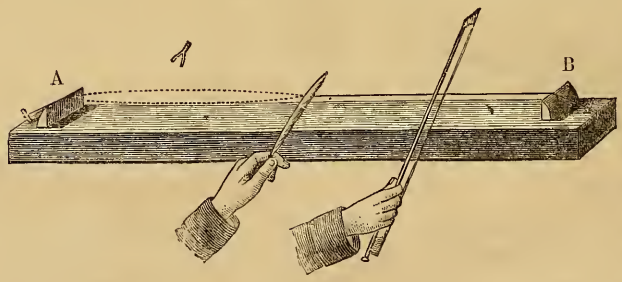


Fig. 4.

une caisse de bois (fig. 4). Deux supports A et B, sur lesquels repose la corde, lui donnent la longueur exacte d'un mètre, et une échelle divisée, placée au-dessous, permet de déterminer à volonté la longueur d'une portion quelconque. La corde est fixée et maintenue à l'état de tension au

moyen de chevilles comme celles d'un piano. Cet instrument, déjà connu des anciens Grecs, s'appelle un *sonomètre;* il a une aussi grande importance dans l'histoire de la musique que pour l'étude des phénomènes sonores qui nous occupent.

Si j'ébranle la corde au moyen d'un archet, elle donne un son dont la hauteur dépend de beaucoup de circonstances, par exemple, de la longueur, de la grosseur, de la densité, de la tension de la corde.

Si je frotte légèrement la corde, le son est faible ; si je l'ébranle au contraire avec une certaine énergie, le son est fort ; d'une manière générale, la force, ou l'*intensité* du son dépend de l'énergie plus ou moins grande avec laquelle je produis le son.

Les vibrations de cette corde peuvent se démontrer de la manière suivante. Déjà l'observation toute seule prouve que la corde ébranlée se trouve dans un état de vibration rapide. Aux deux extrémités qui reposent sur les deux chevalets, la corde paraît immobile ; mais à mesure qu'on observe la partie moyenne, on trouve que les contours de la corde perdent de leur netteté. Elle semble notablement grossie, et le maximum de ce grossissement tombe juste au milieu de la corde. Cela provient de ce que chaque molécule de la corde exécute des vibrations rapides, se mouvant en dessus et en dessous dans un sens perpendiculaire à la longueur. Les vibrations de cette nature s'appellent *transversales*, pour les distinguer des vibrations *longitudinales* dans lesquelles chaque molécule vibre suivant le sens même de la corde.

Dans la pratique de la musique, on ne fait pas usage des vibrations longitudinales des cordes ; je ne m'occuperai donc ici que des vibrations transversales. Pour en mieux démontrer l'existence, on place sur la corde des petits morceaux de papier pliés par le milieu en guise de petits cavaliers. Quand la corde vibre, ces petits cavaliers sont lancés

en l'air à cause de leur légèreté; ils tombent de la corde, et indiquent ainsi les points où elle se trouve à l'état de vibration ou à l'état de repos.

Le mode le plus simple de vibration est celui où toute la corde exécute simultanément une vibration unique. J'obtiens facilement cet effet, en laissant la corde entièrement libre et en l'ébranlant avec l'archet dans le voisinage d'une des deux extrémités. Remarquez que les cavaliers sont tous jetés bas, d'abord ceux qui sont au milieu où le mouvement est le plus fort, puis successivement les autres. Cela prouve qu'à l'exception des deux points fixes de la corde, il n'y en a pas d'autre qui ne vibre, ou, en d'autres termes, que toute la corde vibre en une seule vibration. Le son ainsi obtenu est le son le plus grave qui corresponde à la corde ; aussi l'appellerons-nous *son fondamental.*

Mais ce n'est pas le seul son qu'on puisse en tirer. Si je la touche légèrement en son milieu avec le doigt, ou mieux avec une plume (fig. 4), j'obtiens un son notablement plus élevé, qu'une oreille musicale distingue facilement, et que la musique pratique appelle l'*octave* du son fondamental. Dans ce cas la corde vibre en deux portions, de manière que le point touché reste toujours immobile.

Ce point immobile s'appelle un *nœud* de la corde vibrante, et on a déterminé la production artificielle de ce nœud en touchant la corde au point indiqué. En fait, si je place les petits cavaliers sur la corde, j'observe que le cavalier placé dans le voisinage de mon doigt ne bouge pas, tandis que tous les autres sont lancés au loin. Le cavalier resté en place révèle ainsi la présence du nœud.

Je puis tirer successivement de la corde des sons de plus en plus élevés en la touchant au tiers, au quart, au cinquième, etc., de sa longueur. L'expérience, faite avec l'aide des petits cavaliers, prouve que, dans tous les cas de ce genre, la corde se subdivise en un certain nombre de parties toujours égales, dans le premier cas en trois, dans le

second en quatre, dans le troisième en cinq, etc. : et les petits cavaliers qui restent sur la corde indiquent les nœuds équidistants qui se forment dans la corde même.

Ainsi, par exemple, quand on touche la corde au cinquième de sa longueur, elle se partage en cinq parties égales, et il se forme quatre nœuds aux distances de $\frac{1}{5}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{4}{5}$ de

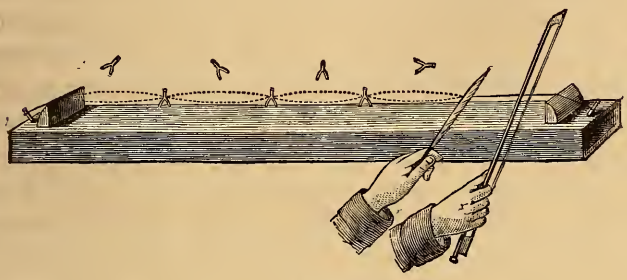


Fig. 4 *bis*.

la corde, tandis qu'aux points intermédiaires se trouvent les *maxima* du mouvement vibratoire (fig. 4 *bis*). Ces points s'appellent *ventres*.

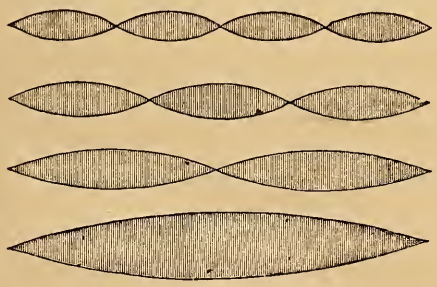


Fig. 5.

La figure 5 représente, avec des dimensions un peu exagérées, les différentes manières dont une corde peut vi-

brer dans les divers cas, soit en entier, soit partagée en 2, 3, 4, etc., parties. Dans le premier cas il ne se forme aucun nœud ; dans les autres nous en avons 1, 2, 3, etc. Il faut remarquer que ces différents cas correspondent à des sons distincts et de plus en plus élevés de la même corde.

6. Un autre exemple intéressant de vibrations nous est fourni par les plaques et les membranes. Le cas est un peu plus compliqué que pour les cordes, mais l'explication est presque la même. En fait, une plaque peut être considérée comme la réunion de cordes rigides attachées ensemble. Comme dans les cordes où nous avons obtenu des points *nodaux*, nous devons aussi avoir dans les lames des lignes *nodales*, formées par la réunion des divers points nodaux.

C'est Chladni qui a découvert ces lignes nodales et qui a indiqué un moyen très-simple pour en démontrer l'existence ; aussi les appelle-t-on *figures de Chladni*. La fig. 6 montre comment quelques plaques se comportent d'ordinaire quand elles sont fixées par leur centre à un pied solide reposant sur un banc commun à toutes.

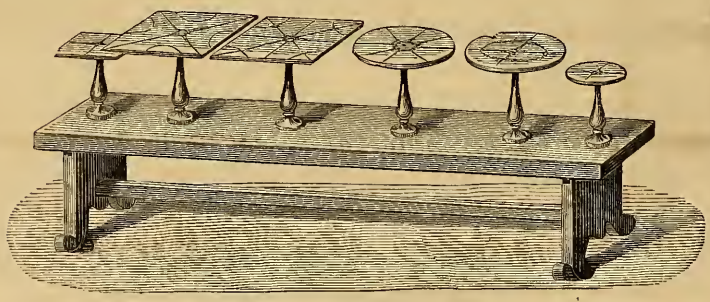


Fig. 6.

En répandant sur les plaques un peu de sable et en les ébranlant avec un archet, on obtient des sons, dépourvus de charme à cause de leur stridence, mais toujours distincts; à peine le son est-il produit qu'on voit le sable sautiller et

se rassembler suivant certaines lignes droites ou courbes, lesquelles indiquent les points où le mouvement vibratoire n'existe pas : ce sont les lignes nodales de Chladni.

Avec la même plaque je puis obtenir des figures très-variées, en appliquant le doigt aux endroits convenables pour déterminer un point et par suite une ligne nodale.

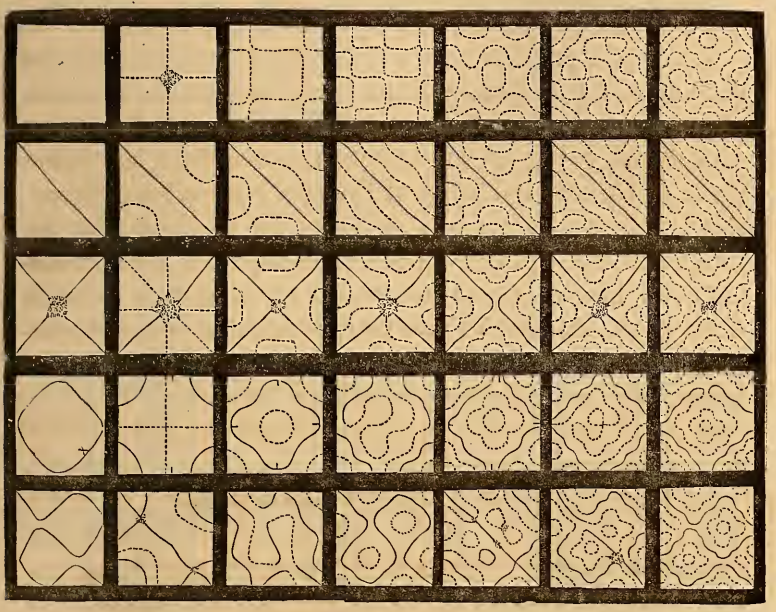


Fig. 7.

Le tableau de la fig. 7 contient une très-belle série de figures, qu'on peut obtenir avec une plaque carrée de grandeur suffisante, suivant les expériences de Savart. Le nombre des figures de ce genre est très-considérable, et celles-ci ne représentent même qu'une faible partie de celles qu'on peut obtenir, surtout quand la plaque est grande.

Les membranes vibrent aussi d'une manière analogue. Leurs figures sont généralement plus compliquées que

celles des plaques et s'expliquent d'une façon tout à fait semblable. La règle est que, à un son déterminé correspond toujours une figure déterminée, pour la même membrane ou plaque, et que la figure est d'autant plus compliquée que le son produit est plus élevé.

Mais on n'a pas encore trouvé jusqu'ici entre ces quantités un rapport ou une loi faisant connaître la relation qui unit la figure au son correspondant.

7. Jusqu'à présent nous avons étudié seulement le cas des vibrations de corps solides. Mais les liquides et les gaz peuvent aussi, en vibrant, produire des sons. Le cas le plus connu est celui des tuyaux sonores dont les musiciens se servent beaucoup et sous les formes les plus variées. Les tuyaux sonores se partagent en deux grandes catégories, les tuyaux à bouche et les tuyaux à anche. Dans les deux cas, le son se forme soit en brisant la colonne d'air qu'on insuffle à l'intérieur, soit en la faisant entrer par bouffées. Dans la première catégorie, la plus importante, c'est-à-dire dans les tuyaux à bouche, cet effet s'obtient au moyen d'une disposition spéciale qui forme précisément la bouche du tuyau.

La fig. 8 représente la forme la plus ordinaire d'un tuyau à bouche. En soufflant dans le tube ouvert *a*, soit au moyen de la bouche, soit en plaçant le tuyau sur une soufflerie, on obtient un son. Le tuyau est vide à l'intérieur, ouvert ou fermé en haut, selon les cas; il a son orifice en *m* et *l*. La fig. 9 montre mieux, en coupe, la disposition d'une bouche de ce genre, qui consiste en une lèvre inférieure *m* et une lèvre supérieure *l* qui se termine en biseau. L'air entre dans le tube *a*, passe dans la cavité *b* et, traversant une fente étroite, va se briser contre la lèvre supérieure *l*. Il entre en partie dans le tuyau, y détermine des vibrations et y produit un son très-net et agréable.

La fig. 10 nous donne un exemple du tuyau à *anche*. L'air qui entre en *r*, pour passer dans le tube plus large R,

doit traverser un appareil spécial, l'*anche*, dont la figure 10 *bis* montre plus particulièrement la disposition. La caisse *a c b* est fermée au moyen de la languette métallique et élastique *d*. Quand celle-ci se soulève, l'air pénètre à travers la fente *a ;* puis la languette retombe par sa propre élasticité et ferme le passage. Les vibrations de la languette

Fig. 8.

Fig. 9

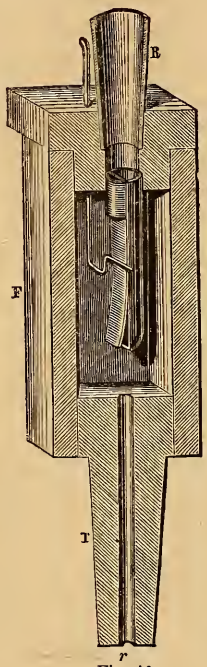


Fig. 10.

Fig. 10 *bis*.

déterminent donc l'ouverture et l'occlusion successives et rapides du tuyau : l'air pénètre par intervalles, par bouffées régulières, et c'est ainsi que le son se produit. Avec l'un ou l'autre de ces tuyaux, quand je souffle avec force le son est fort ; quand je souffle doucement, il devient faible, et dans ce dernier cas j'obtiens le son le plus grave que puisse donner le tuyau ; on l'appelle le son fondamental.

Un son de ce genre dépend des dimensions du tuyau et de la nature du gaz qu'on y fait entrer ; à des dimensions déterminées, à un mode déterminé de soufflerie, correspond un son fondamental déterminé. Lorsqu'on souffle plus fort, il peut arriver que le tuyau donne un son différent du son fondamental. Cela arrive surtout quand le tuyau est très-étroit par rapport à sa longueur ; on peut facilement l'éviter en donnant au tuyau une largeur proportionnée à la longueur, et en suivant certaines règles que la pratique a indiquées. On peut donc construire à volonté, un tuyau qui donne de préférence le son fondamental, ou un autre qui donne de préférence des sons plus aigus. Les facteurs d'instruments utilisent également ces deux propriétés.

On a des instruments, à bouche ou à anche, où chaque tuyau est destiné à donner seulement le son fondamental qui lui est propre. Il en est ainsi, par exemple, de l'orgue sous toutes les formes différentes et très-compliquées qu'il peut prendre. Beaucoup d'instruments à vent comme les cors, les trombones, etc., et aussi la flûte, sont des tuyaux destinés à émettre chacun une série de sons. On y parvient en donnant à l'instrument une grande longueur par rapport à ses autres dimensions, et en contournant et repliant le tuyau pour lui donner une forme plus commode quand il est trop long. Comme la corde vibrante, un tuyau sonore donne alors une série de sons de plus en plus aigus. Il suffit de renforcer le courant d'air. Mais on obtient un résultat meilleur et plus rapide en ouvrant, au moyen des *pistons* dans les trompes, au moyen des *touches* et des *clefs* dans la flûte, une communication avec l'air extérieur à des points déterminés. L'effet est comparable à celui qui se produit quand on touche une corde en un point avec le doigt ; il se forme un nœud, et la colonne d'air vibrante se subdivise en un certain nombre de parties aliquotes, suivant des règles simples, mais qui varient avec la nature du tuyau.

La flûte et, en grande partie, les tuyaux d'orgue sont des tuyaux à bouche; mais, pour la première, la bouche est formée par une ouverture pratiquée dans l'instrument même et par les lèvres de l'artiste. Les instruments à anche sont la clarinette, le hautbois, et toutes les trompettes; ces dernières ont une petite embouchure sur laquelle s'appliquent les lèvres qui, en vibrant, font fonction d'anche.

Parmi les tuyaux, de formes si diverses, on distingue les tuyaux ouverts et les tuyaux fermés. A part certaines différences très-caractéristiques, le son produit par les uns et les autres, dans le même cas, diffère par la hauteur. Deux tuyaux, l'un fermé, l'autre ouvert, de même forme et de grandeur égale, donnent deux sons fondamentaux qui sont entre eux à un intervalle d'octave. En bouchant un tuyau ouvert on passe à l'octave grave; en ouvrant un tuyau bouché on passe à l'octave aiguë.

Fig. 11.

Pour démontrer les vibrations de l'air dans le tuyau, on peut employer différents procédés. Un d'entre eux consiste à introduire, dans le tuyau ouvert à la partie supérieure, une membrane de papier légère et très-tendue *m*, sur laquelle on répand du sable. Le son est un peu modifié par l'introduction de ce corps étranger; malgré cela il continue à se produire, et, à travers la paroi de verre pratiquée dans le tuyau, on voit le sable lancé en l'air avec un certain bruit, parce que les vibrations de l'air se communiquent

à la membrane de papier et de là au sable. Au milieu de la longueur du tuyau, le mouvement du sable cesse, ce qui prouve qu'il existe là un véritable nœud, et que le sautillement du sable n'est pas provoqué par le soufflement, mais bien par la vibration de l'air.

Une autre manière simple de prouver les vibrations de l'air est la suivante. On prend un tuyau plutôt long par rapport à sa largeur, et dont une paroi est formée par une tablette en bois très-mince. En soufflant avec une certaine force, on obtient un son beaucoup plus aigu que le son fondamental du tuyau. L'air communique ses vibrations à la paroi mince. Si on tient le tuyau horizontal et qu'on répande du sable sur la paroi mince, le sable saute et va s'accumuler sur certaines lignes, qui sont de vraies lignes nodales, et indiquent exactement de quelle manière l'air vibre à l'intérieur du tuyau.

Une autre méthode d'une certaine importance a été indiquée par Kundt. On prend un tube de verre suffisamment gros, long d'environ deux mètres; on verse à l'intérieur une poudre légère, du lycopode ou de la sciure de sureau, et on la distribue avec une certaine régularité. Puis on ferme le tube aux deux extrémités avec des bouchons de sureau; d'une main on le tient immobile par le milieu, et de l'autre on le frotte avec un chiffon légèrement mouillé. Il se produit alors un son aigu et net; les vibrations du tube se transmettent à l'air intérieur, et la poudre légère se distribue régulièrement comme l'indique la fig. 12, qui représente une portion du tube.

Fig. 12.

Les cercles sont des nœuds, et, entre eux, la poudre montre de véritables stries transversales.

La forme de la figure et spécialement la distribution des nœuds dépendent des circonstances, des dimensions du tube et par suite du son qu'il émet, enfin du gaz qui se trouve renfermé dans le tube. Sous ce rapport la méthode de Kundt est susceptible d'une grande exactitude et de nombreuses applications; elle permet de déduire la vitesse avec laquelle le son se propage à travers les divers corps.

8. Dans ces derniers temps le constructeur Kœnig a imaginé une nouvelle méthode très-élégante, celle des flammes manométriques, pour démontrer les vibrations de l'air dans les tuyaux sonores.

La fig. 13 donne une idée assez exacte de son appareil.

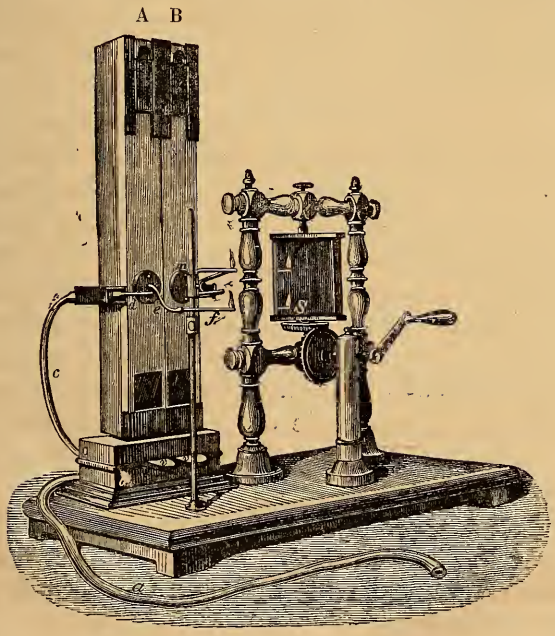


Fig. 13.

Un ou plusieurs tuyaux, égaux ou différents (dans le dessin de la fig. 13 ils sont égaux, A et B), sont placés sur une petite

caisse *b*, qui fait fonction de caisse à air. Le tube de gomme élastique *a* la met en communication avec une soufflerie, les soupapes *v* servent à faire fonctionner à volonté l'un ou l'autre des tuyaux ou tous les deux. Sur le tuyau même est pratiqué un orifice, fermé à son tour par une capsule *e*, sous laquelle se trouve une membrane mince élastique. Celle-ci sert à séparer l'intérieur du tuyau de l'intérieur de la capsule, laquelle est mise en communication d'un côté avec le tube à gaz *c* au moyen du petit tube *d*, de l'autre avec le petit tube *f*, qui se termine par une petite pointe. Le gaz entre donc dans la capsule, la remplit et passe à travers le petit tube et le petit trou. En l'allumant, on obtient une petite flamme. Si le tuyau ne rend aucun son le gaz passe tranquillement à travers la capsule, et donne lieu à une flamme tranquille et normale. Si, au contraire, le tuyau résonne, l'air vibrant communique son mouvement à la membrane, puis au gaz et à la petite flamme. Vous voyez en effet, quand je produis un son dans le tuyau, que la petite flamme s'allonge, devient agitée, plus bleue, et indique dans toute son allure quelque chose d'anormal. Cela vient de ce que la petite flamme participe aux vibrations de l'air dans le tuyau. Elle s'abaisse et s'élève rapidement, et comme ce mouvement, en raison de sa vitesse, ne peut être suivi de l'œil, nous voyons seulement une forme compliquée de la flamme, forme qui résulte de la superposition des flammes partielles, tantôt courtes, tantôt longues.

Pour montrer commodément les vibrations de la flamme, on recourt à un moyen très-usité en physique. Vous voyez derrière la flamme une caisse carrée recouverte de quatre miroirs S, caisse qui, au moyen d'une manivelle et d'un système de roues dentées, peut tourner rapidement autour d'un axe vertical. Quand la flamme brûle d'une manière constante, il se forme dans le miroir tournant une traînée lumineuse continue, parce que à chaque posi-

tion que prend le miroir dans sa rotation, correspond une image toujours égale de la flamme. Si, au contraire, la flamme vibre, c'est-à-dire si elle est tantôt courte et tantôt longue, à certaines positions du miroir correspondent des images courtes, à d'autres des longues, et l'on voit, dans le miroir tournant, les images se succéder tantôt courtes et tantôt longues (fig. 14 *a*).

Les petites flammes courtes se confondent sensiblement dans la masse lumineuse, parce que la partie inférieure de la flamme ne participe pas beaucoup au mouvement vibratoire. Mais les flammes longues se voient nettement séparées les unes des autres, aussi le phénomène présente-t-il la forme de flammes détachées et toutes égales comme l'indique la fig. 14. Cette méthode donne une image nette de ce qui arrive dans l'intérieur du tuyau; l'expérience réussit toujours; elle est visible même pour un auditoire très-nombreux, pourvu qu'on ait soin de faire l'obscurité dans la chambre, de façon à préserver le miroir de tous les autres reflets.

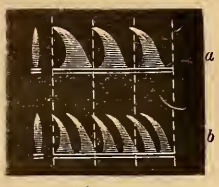


Fig. 14.

Je puis encore prendre un tuyau plus petit, lequel me donne un son plus aigu que le premier, et qui en est précisément l'octave. Vous remarquerez facilement que pendant que je fais agir l'appareil de la même manière qu'auparavant, les petites flammes vibrantes sont notablement plus rapprochées. En thèse générale, *plus le son est aigu* et plus, pour une même rotation du miroir, les flammes sont rapprochées, autrement dit *plus sont rapides les vibrations de l'air dans le tuyau.* Ceci est une loi très-importante, qui demandera dans la suite une étude plus approfondie de notre part, mais qu'il est utile d'avoir déjà constatée par cette expérience élégante. Nous pouvons même aller plus avant, et déterminer le rapport entre les nombres de vibrations de nos deux tuyaux. Je les fais agir tous les

deux, indépendamment l'un de l'autre, et j'obtiens deux séries de petites flammes l'une au-dessus de l'autre, fig. 14, *a* et *b*. Pour peu que vous les regardiez attentivement, vous verrez que deux images de dessous correspondent à une image de dessus, et cela quelle que soit la vitesse de rotation du miroir. Nous arrivons donc à la conclusion, que l'*octave est toujours composée d'un nombre de vibrations double de celui du son fondamental.*

9. Je pourrais continuer longtemps encore la série des démonstrations, car en vérité les exemples ne manquent pas. J'en ai cité seulement quelques-uns, choisis parmi les plus importants, et je crois qu'ils suffisent pour éclaircir le sujet que je me suis proposé dans ce premier chapitre. Partout où il y a un son, il existe aussi des vibrations. D'où l'on peut conclure que le son et les vibrations sont des phénomènes concomitants. Les vibrations peuvent venir d'un corps solide, liquide ou gazeux. Mais il n'existe aucun exemple connu d'un son produit sans vibrations de corps matériels. Je ne veux pas dire par là que toutes les vibrations doivent produire un son; il faut pour cela qu'elles satisfassent à certaines conditions spéciales que nous étudierons dans la suite. Mais nous pouvons déjà dire qu'un son est toujours produit par des vibrations.

Remarquons que les vibrations sont quelque chose d'objectif : elles existent dans le corps sonore, extérieurement à l'homme. Le son, au contraire, se produit dans notre oreille; c'est un phénomène subjectif. Pour un sourd les vibrations existent, mais non comme son; il pourrait les étudier, en ignorant absolument qu'elles produisent sur notre organisme une sensation spéciale. D'où nous pouvons conclure que *les vibrations sont la* CAUSE *et le son l'*EFFET produit sur notre oreille, ou, en d'autres termes, que le son est le résultat de certaines vibrations des corps.

CHAPITRE II

PROPAGATION DU SON.

1. Transmission du son. — 2. Propagation dans l'air. — 3. dans l'eau et dans d'autres corps. — 4. Vitesse du son dans l'air. — 5. dans l'eau et dans d'autres corps. — 6. Réflexion du son. — 7. Écho.

1. Nous possédons dans notre organisme un instrument spécial, l'oreille, apte à percevoir les sons. Mais, si les vibrations du corps sonore sont la cause du son, il s'agit de savoir comment ces vibrations arrivent jusqu'à notre oreille, pour y produire la sensation sonore. Une vibration ne peut évidemment se propager, sans un milieu apte à la transmettre. Ce milieu est généralement l'air; mais ce peut être aussi un autre corps quelconque, solide, liquide ou gazeux, pourvu qu'il soit élastique.

L'élasticité des corps est une condition nécessaire non-seulement à la formation du son, mais aussi à sa transmission; car les vibrations ne se propagent qu'en transmettant leur mouvement propre aux couches les plus voisines du corps vibrant. Ces couches le transmettent à leur tour aux couches voisines, et ainsi de suite de proche en proche.

La vibration semble donc cheminer de couche en couche, et, quand les circonstances le permettent, dans toutes les directions. Le mouvement vibratoire n'est pas possible, si chaque molécule du milieu de transmission n'est pas capable de vibrer pour son propre compte, autrement dit si le

milieu n'est pas élastique. Aussi la faculté qu'un corps a de transmettre des sons constitue-t-elle une des preuves les plus certaines de l'élasticité du corps lui-même.

Pour avoir une idée très-claire de la transmission d'un mouvement vibratoire, il suffit d'observer une grande surface d'eau parfaitement tranquille. En y jetant une pierre, on voit, du point où elle tombe, partir une série d'ondes concentriques, qui s'agrandissent, puis deviennent moins prononcées, et finissent par être insensibles. Ce serait une erreur de croire que l'eau elle-même se transporte d'un point à l'autre. Chaque molécule reste, pour ainsi dire, à son poste ; elle exécute seulement une vibration perpendiculaire à la direction des ondes ; mais elle se retrouve ensuite exactement à la même place qu'auparavant. Il est facile de vérifier ce fait : il suffit de jeter sur l'eau de la sciure de bois ou d'autres corps flottants, pour voir qu'ils sont secoués, par le mouvement vibratoire qui passe sous eux, sans être sensiblement déplacés. C'est donc seulement le mouvement vibratoire qui se propage d'un point à l'autre, et non le corps ou une fraction même du corps qui se déplace.

Un cas plus compliqué, et en même temps plus intéressant, c'est celui de plusieurs mouvements vibratoires, qui, provenant de points différents, se heurtent et s'entrecroisent les uns les autres. Si nous jetons dans une eau tranquille deux ou plusieurs pierres, en des points différents, il se forme deux ou plusieurs systèmes d'ondes, qui, en s'étendant, doivent se rencontrer. L'expérience démontre qu'aux points communs aux deux ondes différentes, il se produit des phénomènes spéciaux que nous appellerons *phénomènes d'interférence*. Mais au-delà de ces points, chaque onde se propage comme si l'autre n'existait pas, comme si l'autre n'avait jamais existé.

C'est là le grand principe de la *coexistence* des mouvements vibratoires, principe que l'expérience enseigne et que l'analyse mathématique a démontré jusqu'à la dernière

évidence. Il est applicable à tous les cas, quel que soit le corps élastique examiné et quelle que soit la nature de ses vibrations. Appliqué au cas des vibrations sonores de l'air, il conduit à cette conclusion : que vingt, trente, cent sons différents peuvent se transmettre dans toutes les directions, sans se troubler réciproquement.

2. Mais, avant tout, il faut démontrer que l'air est réellement capable de transmettre les sons. Je prends un ballon de verre, dans lequel pénètre une tige de laiton portant à son extrémité, une sonnette, *c* (fig. 15), attachée par un fil de coton non élastique. Le ballon est muni à son col d'un robinet *a* qui permet de l'ouvrir ou de le fermer. J'ai enlevé l'air du ballon, au moyen de la machine pneumatique, aussi complétement que possible. On peut alors secouer le ballon et, par suite, la sonnette, tant qu'on veut, sans entendre aucun son. Cependant si j'applique l'oreille contre le ballon, je perçois un son très-faible : cela tient à ce que l'air n'est pas complétement enlevé, et que le fil de coton, auquel est suspendue la sonnette, n'étant pas complétement privé d'élasticité, transmet un peu le son. Mais ce son est tellement faible, qu'il n'est perceptible que pour une personne placée près de la sonnette. Maintenant j'ouvre pendant quelque temps le robinet, puis je le referme : un peu d'air est entré dans le ballon et le son de la clochette commence à se faire entendre. Ses vibrations trouvent déjà un milieu élastique, capable, bien que très-raréfié, de les transmettre à l'enveloppe de verre du ballon. Le verre, qui est fortement élastique, les transmet à l'air extérieur et de là à notre oreille ; le son se fait donc entendre, quoique encore faiblement.

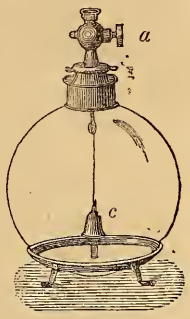


Fig. 15.

J'ouvre de nouveau le robinet. A mesure que l'air rentre,

le son devient plus fort; enfin, quand l'air atteint, à l'intérieur du ballon, la même densité qu'à l'extérieur, la clochette se fait entendre avec toute l'intensité dont elle est susceptible. Ceci démontre que l'air est capable de transmettre les vibrations sonores; que, dans ce cas, il était nécessaire à cette transmission, et qu'il transmet le son d'autant mieux que sa densité est plus grande.

3. Tous les corps solides, liquides et gazeux, pourvu qu'ils soient élastiques, sont capables, comme l'air, de transmettre les vibrations sonores. C'est un fait très-connu, que, lorsqu'on prend des bains de mer, si on enfonce la tête ou au moins les oreilles sous l'eau, on entend distinctement le bruit produit par le choc de l'eau contre les roches. Un autre fait également bien connu, c'est que, pour entendre de loin les pas de personnes ou d'animaux, il faut appliquer son oreille contre la terre; cela prouve non-seulement que la terre transmet les sons, mais que, dans certains cas, elle les transmet mieux que l'air lui-même.

Presque tous les corps connus sont capables de transmettre les sons, et, au premier rang entre tous, les métaux. Cette transmission réussit bien surtout quand le son reste circonscrit, et qu'il est forcé de se propager dans une seule direction. Ce n'est pas le cas d'une cloche qui résonne dans l'air libre; le son se transmet dans toutes les directions et s'affaiblit rapidement. Mais si, au contraire, la transmission se fait dans une direction unique, un son, même faible, peut être entendu à grande distance. Les tubes acoustiques ou *tubes parlants*, dont on fait un si fréquent usage, sont fondés sur ce principe. Ce sont des tubes cylindriques, généralement en gomme élastique, qui se disposent à volonté d'un point à un autre. Si l'on parle à une extrémité, le son se transmet de couche en couche, et arrive facilement à l'autre extrémité, à la seule condition que ces tubes ne présentent point de courbure brusque. Théorique-

ment, il n'y a pas de limite à une transmission de ce genre dans des tubes cylindriques ; en pratique, le son s'affaiblit peu à peu dans les tubes longs, parce que l'air vibrant frotte contre les parois et y use une partie de son mouvement. Néanmoins il peut arriver jusqu'à de grandes distances.

Wheatstone a décrit une élégante expérience sur la transmission des sons. Une baguette de bois, d'une longueur de quelques mètres, passe d'une chambre à une autre, par exemple d'un étage à l'étage supérieur. Pour la préserver du contact d'autres corps, nous l'entourons d'un tube de fer-blanc et de gomme élastique, mais les deux extrémités restent libres. L'une d'elles est mise en communication avec la table d'harmonie d'un piano, ou avec un autre instrument de musique, et transmet jusqu'à l'autre extrémité tous les sons qu'elle reçoit. Pour les rendre sensibles, il suffit d'attacher à la seconde extrémité un autre instrument : violon, harpe, piano. L'effet est surprenant : on entend très-bien un morceau de musique joué dans une autre chambre ou à un autre étage.

4. Voici maintenant une autre question qui se présente : avec quelle vitesse le son se transmet-il dans les différents corps? cette vitesse est-elle grande ou petite? est-elle la même pour tous les corps, ou non ?

Nous entendons par vitesse l'espace parcouru dans une seconde, et, passant à un exemple, nous voulons nous demander quel est l'espace parcouru dans l'air, en une seconde, par une vibration sonore. C'est un fait très-connu que cette vitesse n'est pas grande. En effet, quand un homme, à une certaine distance, frappe avec un marteau sur une enclume, nous voyons d'abord le mouvement du marteau, puis nous entendons le son ; si la distance est un peu grande, la différence de temps entre la sensation de l'œil et celle de l'oreille devient très-sensible. Un coup de canon tiré à grande distance s'annonce à nous

d'abord sous forme d'une flamme produite par l'explosion de la poudre, puis seulement ensuite sous forme de bruit. Il existe un grand nombre d'exemples de ce genre. Ils prouvent que le son se transmet beaucoup plus lentement que la lumière, et que, dans tous les cas, la vitesse du son ne peut être grande.

La méthode employée pour déterminer la vitesse du son est très-simple. Il suffit de placer deux canons à deux stations différentes et à la plus grande distance possible l'une de l'autre; de mesurer exactement cette distance, de faire tirer des coups à des moments convenus, et d'observer, au moyen d'un chronomètre à secondes, le moment où le bruit de la première station arrive à la seconde et *vice versâ*. On connaît ainsi le temps employé par le son à parcourir l'espace compris entre les deux stations ; on connaît de plus la distance, et, en divisant l'un des chiffres par l'autre, on a la vitesse cherchée.

De telles expériences doivent se faire pendant la nuit pour ne pas être troublées par d'autres bruits. De plus elles doivent se faire pendant des nuits calmes, sans vent, parce que le vent, qui n'est autre chose que la translation d'une grande masse d'air, augmente ou diminue la vitesse du son suivant qu'il est favorable ou défavorable, autrement dit suivant que sa direction est conforme ou contraire à la direction du son. Mais, comme on n'est jamais sûr qu'il n'y a pas de vent, on tire autant de coups de canon à une station qu'à l'autre, de sorte que le vent, favorable pour l'une, est défavorable pour l'autre. L'une des vitesses est donc trop grande, l'autre trop petite, et la moyenne représente, avec une grande approximation, la valeur qu'on aurait trouvée dans le cas où il n'y aurait pas eu de vent.

On a exécuté plusieurs fois des expériences de ce genre. Je citerai spécialement celles des académiciens français en 1822 entre Montlhéry et Villejuif, celles de Moll et de

Van der Beck, et enfin, à une époque plus récente, celles de Regnault accomplies avec des procédés très-perfectionnés.

Il résulte de ces expériences, que la vitesse du son dans l'air à la température de 0° peut être fixée en chiffres ronds à 330 mètres par seconde. Cette vitesse croît régulièrement avec la température : à seize degrés elle est d'environ 340 mètres; et, ce qu'on a longtemps ignoré, elle est un peu plus grande pour les sons forts que pour les sons faibles. Mais cette différence, constatée par Regnault, est très-petite et peut être négligée dans la plupart des cas. A l'appui de l'influence de la température sur la vitesse du son, je citerai encore les expériences faites par le capitaine Parry dans l'île de Melville, située au milieu d'un groupe d'îles de l'Amérique septentrionale. Il résulte de ces expériences que, par la basse température de 38°,5 au-dessous de zéro, la vitesse est de 309 mètres.

Il est facile de vérifier que les sons graves et les sons aigus se propagent avec la même vitesse. Si vous entendez de loin une musique militaire, vous remarquez que le morceau conserve intégralement son mouvement rhythmique. Les sons arrivent plus faibles par suite de la grande distance, mais ils se maintiennent exactement dans le même ordre de succession. Ceci ne serait pas possible si les différents sons, graves ou aigus, n'avaient pas la même vitesse. Biot a voulu faire des expériences plus exactes sur ce point : un exécutant placé à l'entrée d'un tuyau de conduite de la ville de Paris, jouait sur une flûte un air connu et très-simple. En écoutant à l'autre extrémité de ce tuyau fort long, il a reconnu que le rhythme de la mélodie n'était pas changé. Il n'est pourtant pas impossible que des expériences plus exactes ne nous révèlent quelques petites différences, comme Regnault l'a reconnu. Mais ce seront toujours des différences très-petites et en grande partie négligeables.

5. La vitesse du son dans l'eau a été déterminée par

Colladon et Sturm dans le lac de Genève. Un timbre était placé sous l'eau et produisait des sons à des moments déterminés. A une grande distance, un tube était conduit jusqu'au niveau de l'eau par la barque dans laquelle était l'observateur. Le tube était très-élargi à sa partie inférieure comme une oreille colossale, et fermé au moyen d'une membrane élastique, laquelle plongeait entièrement dans l'eau. Les vibrations sonores se propageaient à travers l'eau jusqu'à la membrane et de celle-ci dans l'air du tube. L'observateur, dont l'oreille était appliquée au bout du tube, entendait distinctement le son. En mesurant la distance du tube à l'observateur, ainsi que le temps employé par le son à la parcourir, Colladon et Sturm ont trouvé une vitesse de 1435 mètres. La vitesse du son dans l'eau est donc notablement supérieure à celle du son dans l'air.

On a exécuté beaucoup d'autres expériences pour déterminer la vitesse du son dans les différents corps. Il me serait impossible, sans dépasser les limites que je me suis tracées, d'entrer dans plus de détails sur ce sujet; d'ailleurs les méthodes employées pour cette recherche sont très-variées et demandent des connaissances plus approfondies dans la théorie du son. Je veux donc me borner à vous dire ici que la vitesse du son est petite dans les corps gazeux comme l'air, d'autant plus petite que le gaz est plus dense ; qu'elle est la plus petite possible dans l'acide carbonique (262 mètres) qui est une fois et demie plus dense que l'air, et la plus grande possible dans l'hydrogène (1269 mètres), gaz très-léger, 14 fois moins dense que l'air. La vitesse augmente notablement dans les gaz avec la température.

Dans les liquides, la vitesse est, en général, bien plus considérable que dans les gaz (l'hydrogène excepté). Dans les solides elle est encore beaucoup plus grande, surtout pour les métaux, chez lesquels elle atteint jusqu'à

20 fois le chiffre de la vitesse dans l'air. Mais en général la température diminue, la vitesse de propagation d'une manière très-sensible, sauf pour le fer, dans lequel elle commence par croître avec la température jusqu'à 100°, puis diminue rapidement.

Ces différences et ces anomalies proviennent de la structure intime des différents corps, et de la manière dont elle se modifie avec la température. La vitesse du son dépend de deux circonstances, l'élasticité et la densité des corps ; elle croît avec la première et diminue avec la seconde. Or les lois suivant lesquelles l'élasticité et la densité varient avec la température, peuvent être très-diverses, surtout pour les corps solides ; d'où il suit que les variations de la vitesse du son dans les solides doivent suivre des lois compliquées.

Pour les diverses qualités de bois, on a des valeurs très-différentes suivant la direction des fibres et des couches.

Le tableau suivant contient quelques déterminations de cette vitesse, et servira à éclaircir mieux le sujet que je pourrais le faire.

VITESSE DU SON DANS QUELQUES CORPS.

Air à.....	0°	suivant	divers	expérimentateurs.	330 mètres.
Oxygène.....	«	«	Dulong	.....	317
Hydrogène.....	«	«	«	.....	1269
Acide carbonique....	«	«	«	.....	262
Gaz d'éclairage.....	«	«	«	.....	314
Eau de Seine à.....	15°		Wertheim	.....	1437
Eau de mer à.....	20°	«		.....	1437
Alcool absolu à.....	23°	«	«	.....	1160
Ether sulfurique à...	0°	«	«	.....	1159
Plomb à.....	20°	«		.....	1228
« à.....	100°	«		.....	1204
Or à.....	20°	«	«	.....	1743
Id. à.....	100°	«	«	.....	1719
Id. à.....	200°	«	«	.....	1634
Argent à.....	20°	«	«	.....	2707
Id. à.....	100°	«	«	.....	2639
Id. à.....	200°	«	«	.....	2477
(?) à 20°.....	20°	«	«	.....	3556
« à.....	100°	«	«	.....	3292

« à.....	200°	suivant	Wertheim	2954 mètres.
Fer à.....	20°	«	«	5127
« à.....	100°	«	«	5299
« à.....	200°	«	«	4719
Acier fondu à.....	20°	«	«	4986
« à.....	100°	«	«	4925
« à.....	200°	«	«	4788
Acacia dans le sens des fibres.....				4714
Acacia dans le sens transversal aux couches.....				1475
Acacia dans le sens des couches.....				1352
Pin dans le sens des fibres.....				3322
Pin transversalement aux couches.....				1405
Pin dans le sens des couches.....				794

6. Quand une onde sonore va se heurter contre un obstacle, elle provoque le même phénomène que les corps élastiques en se heurtant contre une paroi résistante. L'onde sonore se réfléchit de manière que l'angle d'incidence soit égal à l'angle de réflexion. On appelle angle d'incidence l'angle formé par le rayon sonore qui va frapper la paroi, et la perpendiculaire élevée au point touché. On appelle angle de réflexion l'angle formé par cette même perpendiculaire et le rayon sonore réfléchi. Avec cette loi la direction qu'un rayon sonore doit prendre après sa réflexion est toujours parfaitement déterminée.

Les phénomènes de réflexion sont très-nombreux. Les deux effets les plus importants de la réflexion sont la résonnance et l'écho. Quand un son est émis dans une chambre, les ondes sonores se propagent dans toutes les directions, vont frapper les parois de la chambre, et sont renvoyées par une réflexion, qui peut se répéter aussi très-souvent d'une paroi à l'autre. Un observateur placé dans la pièce percevra, non-seulement le son qui lui arrive directement du corps sonore, mais aussi les vibrations qui lui viennent par réflexion de toutes les parties de la chambre.

Le son s'en trouve notablement renforcé, et c'est pour cela qu'il est beaucoup plus facile d'entendre et de se faire entendre dans une pièce fermée que dans un local ouvert.

Dans ce cas, le son est non-seulement renforcé, mais encore altéré; en effet les réflexions sur les parois, par suite de la faible vitesse du son, prennent un certain temps et prolongent le son d'une façon plus ou moins sensible. Si la chambre est petite, cette prolongation n'est pas importante et peut être négligée. Mais quand la pièce a de vastes proportions, comme par exemple un théâtre, chaque note parlée, chantée ou jouée, peut se prolonger notablement; elle se confond avec la note suivante et ce phénomène de résonnance peut devenir extrêmement désagréable si l'on n'y porte remède. La chose se produit dans tous les grands locaux clos et vides, où la réflexion s'exerce librement. Il n'y a qu'un moyen pour remédier à cet inconvénient, c'est d'interrompre la continuité des grands murs. Les balcons d'un théâtre, les décorations entre les balcons, les galeries, les tentures, ne servent pas seulement à la commodité des spectateurs et ne relèvent pas seulement la beauté intérieure de la salle; ils ont un but beaucoup plus important, celui d'empêcher les résonnances désagréables. C'est un des problèmes les plus difficiles pour un architecte que la construction d'une salle acoustique, c'est-à-dire, d'une salle où le son soit notablement renforcé, sans dégénérer en résonnance, et l'on peut dire que, dans un petit nombre de théâtres seulement, le problème a été résolu d'une manière satisfaisante.

La réflexion du son a été utilisée de différentes manières. La nature et l'art se sont donné la main pour résoudre quelques problèmes qui ne manquent pas d'intérêt. On connaît la célèbre *oreille de Denys*, où le plus petit bruit se change en une rumeur assourdissante. Les grandes coupoles de l'église de Saint-Pierre à Rome et de Saint-Paul à Londres sont construites de façon que deux personnes placées en des points opposés de la galerie interne, située sur le tambour de la coupole, peuvent se parler à voix très-basse. Le son se transmet de l'une à l'autre le long de la

courbure de la coupole. Des phénomènes semblables se rencontrent fréquemment sous les grandes arches des ponts, viaducs, etc., et il y eut une époque où les problèmes de ce genre étaient très-recherchés et souvent résolus par les architectes. Dans les vieux palais on rencontre souvent des chambres parlantes, des conduits de communication, etc.

On peut démontrer d'une manière élégante la réflexion du son à l'aide de deux miroirs paraboliques MN, M'N

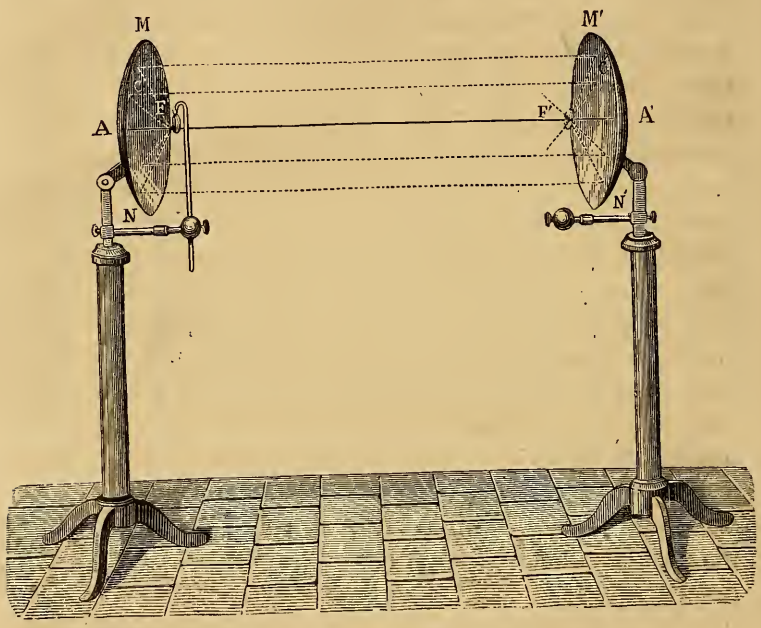


Fig. 16.

(fig. 16), placés l'un en face de l'autre, de façon que leurs centres soient situés sur la droite AA'. Si on place un corps sonore en un point spécial F, dit *foyer*, les ondes sonores vont heurter le miroir, sont renvoyés par réflexion vers le second miroir, et de là concentrés sur le second foyer F'.

Le rayon FC est réfléchi dans la direction CC′, et avec une seconde réflexion en C′ F′. Il en est de même de tout autre rayon, et tous se concentrent en F′. Une oreille placée en ce point entend distinctement un léger bruit émis en F, grâce aux miroirs et à la double réflexion qui s'ensuit, tandis que, sans eux, elle ne pourrait percevoir que le rayon FF′, trop faible en lui-même pour produire une sensation sensible.

Un autre exemple de réflexion multiple se rencontre dans le fameux Baptistère de Pise, édifice surmonté d'une espèce de coupole étroite et de forme spéciale. En se plaçant sous la coupole, dans l'intérieur du Baptistère, et en chantant une note, on entend le son se prolonger pendant un temps très-long, de sorte qu'en chantant trois ou quatre notes en cadence, on entend par l'effet de la réflexion un très-bel accord, semblable à celui d'un orgue et se prolongeant assez longtemps.

7. Entre tous les cas de réflexion, le plus connu est celui de l'*écho*. Pour que l'écho se forme, il faut qu'à une certaine distance de l'observateur il se trouve une grande paroi verticale. Un son émis par l'observateur vers la paroi lui revient par réflexion, et si la distance parcourue par le son est assez grande, le son réfléchi sera nettement distinct du son émis. La vitesse du son étant, à la température ordinaire, d'environ 340 mètres par seconde, la dixième partie est de 34 mètres. Or l'expérience enseigne qu'en une seconde on prononce en moyenne cinq syllabes ; par suite le temps nécessaire pour prononcer une syllabe est de $\frac{1}{5}$ de seconde. Dans ce temps le son parcourt deux fois 34 mètres ou 68 mètres.

Il s'ensuit que, si la paroi réfléchissante se trouve à une distance de 34 mètres de l'observateur, une syllabe mettra un dixième de seconde pour arriver jusqu'à la paroi et un autre pour revenir à l'observateur, en tout un cinquième

de seconde. L'écho arrivera donc à l'oreille de l'observateur quand la syllabe aura déjà été prononcée ; il s'en distinguera par conséquent. On dit dans ce cas que l'écho est *monosyllabique :* on le dit *bisyllabique* quand deux syllabes peuvent revenir distinctement à l'observateur. Cela arrive quand la paroi se trouve à une distance double, soit au moins 68 mètres. A une distance triple l'écho pourra être *trisyllabique* et ainsi de suite. L'écho peut encore être multiple quand le son se réfléchit entre deux parois parallèles placées à distance suffisante l'une de l'autre. Le cas le plus intéressant de ce genre est certainement celui de la Simonetta, près de Milan ; c'est une *villa* avec deux corps de bâtiment latéraux ; un coup de pistolet s'y répète jusqu'à trente-deux fois.

On trouve un peu partout des exemples d'écho. Leur explication est toujours facile ; il me paraît donc inutile d'insister plus longuement sur ce sujet.

CHAPITRE III

L'INTENSITÉ DU SON.

1. Caractères des sons et différence entre le son et le bruit. — 2. Intensité du son et diverses causes dont elle dépend. — 3. Principe de la concomitance des sons. — 4. Caisses harmoniques et résonnateurs.

1. Tous les différents sons de la nature, quels que soient leur origine et leur mode de propagation, se distinguent entre eux par trois qualités diverses :

1° L'énergie plus ou moins grande avec laquelle ils se produisent ou l'*intensité;*

2° Leur *hauteur;*

3° Cette différence caractéristique, grâce à laquelle une oreille, même peu exercée, distingue facilement un son de violon d'un son de flûte, le piano de la voix humaine, etc., quoique ces sons présentent tous la même intensité et la même hauteur. Cette différence caractéristique s'appelle le *timbre.* Nous savons maintenant de quoi dépendent ces trois qualités différentes du son. Mais avant d'aborder cet important sujet, il faut examiner ce qu'on entend par le *son*, quand on parle de ses qualités.

Généralement on distingue en physique entre *le son* et *le bruit.* Le son est le résultat de vibrations très-régulières, suivant une loi peut-être compliquée, mais qui reste toujours une loi. Quand les vibrations prennent la forme la plus simple possible, celle que nous offrent les oscillations

du pendule, le son qui en résulte est dit *simple ;* si la loi est plus compliquée, le son est dit *composé.*

Le bruit, au contraire, est un mélange de sons accolés ensemble sans aucune règle, ou suivant une règle tellement compliquée que l'oreille ne peut la sentir ni la comprendre. Il s'ensuit que, si dans la majeure partie des cas on distingue facilement le son du bruit, néanmoins la limite entre les deux n'est pas toujours nettement tracée. Ce qui pour telle personne peut déjà être un son, reste encore un bruit pour une autre, et *vice versâ.* Le son confus qui provient du mouvement des vagues de la mer est considéré généralement comme un bruit ; mais une oreille attentive et exercée y découvre des sons déterminés et lui donne une signification musicale. Ainsi les poètes parlent souvent, et non sans raison, de l'harmonie des flots. Un orchestre, quand chacun des exécutants accorde son instrument et se prépare à jouer, produit un bruit qui peut être considéré comme la ligne de démarcation entre le son et le bruit. En fait il s'y trouve, bien qu'en désordre, beaucoup d'éléments musicaux et l'impression n'est pas absolument désagréable.

Une oreille plus fine et plus exercée peut retrouver, au milieu de bruits confus, un son déterminé. Bien souvent, celui dont l'oreille n'est pas exercée, ne s'aperçoit pas de la présence d'un son plus marqué au milieu de tant d'autres. Mais, pour peu qu'on y fasse attention, on arrive facilement à le reconnaître.

Pour démontrer ce fait, je prends ici une série de 8 tablettes qui ont toutes la même longueur et la même largeur, et qui diffèrent seulement par l'épaisseur. Si je fais tomber sur un banc une de ces tablettes, on ne distinguera probablement aucun son dans le bruit du choc. Et pourtant c'est un son très-caractérisé. Pour le rendre sensible, il suffit de faire tomber successivement les huit tablettes. Elles sont accordées de manière à produire la

gamme et on entend alors très-distinctement cette gamme. Ainsi, dans le bruit confus produit par la chute de chaque tablette, il y a un son que tout le monde ne perçoit point, bien qu'il soit suffisamment net et distinct.

Dans l'étude que nous entreprenons maintenant, je ne m'occuperai que des sons et non des bruits, parce que vouloir déterminer les qualités d'un bruit serait beaucoup trop compliqué pour le but que je me propose. La hauteur, l'intensité et le timbre des sons ne présentent rien de bien défini.

2. Cela posé, je vais rechercher de quelles causes dépend l'intensité des sons et comment elle peut être modifiée.

L'intensité dépend d'abord de l'énergie plus ou moins grande avec laquelle le son est produit. Or, de toutes les expériences indiquées dans le premier chapitre, il résulte que l'énergie plus grande produit un mouvement vibratoire plus marqué dans les molécules des corps sonores, en ce sens que chaque molécule vibrante fait un chemin plus grand. La loi de l'isochronisme des vibrations démontre que la durée est indépendante de l'espace parcouru, au moins avec une approximation qui est généralement réputée suffisante. Nous appelons *amplitude* des vibrations l'espace *maximum* parcouru par chaque molécule; nous dirons donc que l'énergie plus ou moins grande avec laquelle un son est émis, influe uniquement sur l'amplitude des vibrations et non sur leur durée. En d'autres termes, *l'intensité du son est représentée par l'amplitude des vibrations.*

L'intensité du son dépend, en outre, de la nature et de la densité du corps destiné à le transmettre. En effet, un corps sonore se fait entendre avec une intensité différente suivant que le son est transmis par l'air ou par un autre gaz, par l'eau ou un autre liquide, ou enfin par un corps solide quelconque. Quant à la densité, il me suffit de rappeler l'expérience décrite dans le second chapitre (2), avec

une clochette placée dans un ballon de verre. Quand l'air avait été presque complétement enlevé, le son ne s'entendait presque pas ; il allait se renforçant de plus en plus à mesure que l'air rentrait dans le ballon.

L'intensité du son dépend encore de la distance à laquelle se trouve le corps sonore. C'est une loi générale de la nature, confirmée par la théorie et par de nombreuses expériences, que tous les phénomènes, quels qu'ils soient, qui ont la propriété de se transmettre également dans toutes les directions, doivent se produire en raison inverse du carré des distances.

Le son appartient précisément à cette catégorie de phénomènes. Toutes choses égales d'ailleurs, il se transmet également dans toutes les directions. Il s'ensuit que son intensité doit varier en raison inverse du carré des distances. Cela signifie qu'un son qui, à une certaine distance, a une intensité donnée, se présente à une distance double avec une intensité quatre fois moindre, ou que son intensité est réduite au quart. Pour une distance triple l'intensité devient $\frac{1}{9}$, pour une distance vingt fois plus grande, l'intensité devient $\frac{1}{400}$ de l'intensité primitive.

3. L'intensité dépend encore de la présence d'autres corps capables de vibrer avec le corps principal. Nous avons déjà vu précédemment que, dans un local fermé, le son est plus fort que dans un local ouvert. Cela provient des réflexions multiples qui se produisent à l'intérieur du local ; les vibrations existantes ne peuvent se perdre et arrivent par suite en plus grand nombre à l'oreille de l'observateur.

Mais l'expérience enseigne que chaque fois qu'un corps vibre, d'autres corps placés dans le voisinage peuvent entrer aussi en vibration, à cette seule condition, que *ces corps soient eux-mêmes en état de produire un son identique*. Ce

fait intéressant mérite qu'on s'y arrête un instant. On peut le démontrer de plusieurs manières.

Je prends ici le sonomètre sur lequel sont tendues deux cordes égales. Vous entendez qu'elles sont accordées de manière à donner chacune le même son. Pour constater si elles vibrent dans un cas donné, je mets sur les deux cordes, comme on l'a vu plus haut, des cavaliers en papier. J'ébranle une des deux cordes avec l'archet de façon qu'elle donne le son fondamental. Vous voyez que tous les cavaliers placés sur cette corde sont lancés en l'air. Mais vous remarquez en même temps que l'autre corde, à laquelle je n'ai point touché, présente le même phénomène quoique plus faiblement; ses cavaliers, malgré quelque résistance, sont aussi projetés au loin.

Je remets les cavaliers sur les deux cordes, puis, touchant l'une d'elles en son milieu et l'ébranlant avec l'archet, j'y détermine un nœud au milieu et je produis un son plus élevé. La seconde corde se met d'elle-même à vibrer de la même manière; tous ses cavaliers sont jetés bas moins un, celui qui correspond au nœud du milieu. Cela prouve que la seconde corde vibre de la même manière que la première.

Je puis continuer ainsi, faisant vibrer la première corde d'une manière quelconque; les cavaliers de la seconde corde montrent qu'elle se met tout à coup à vibrer de la même manière. Les vibrations de la première corde se transmettent au chevalet du support et de là à la seconde corde. Elles se transmettent de la première à la seconde par l'intermédiaire de l'air, et le mouvement vibratoire est le même dans les deux cordes.

Mais le mouvement vibratoire de la seconde corde n'a plus lieu si celle-ci ne peut donner, par elle-même, le même son que la première. Pour vous le démontrer, je tends un peu plus l'une des deux cordes de façon qu'il y ait entre elles une différence de ton sensible, un demi-ton, par exemple. Je puis maintenant ébranler la première corde

tant que je veux et comme je veux, on ne voit plus aucun mouvement se produire dans la seconde. Ce n'était donc pas l'action purement mécanique du choc, ou des secousses imprimées à l'instrument, qui produisait d'abord le beau phénomène que nous avons observé.

Voici une autre expérience propre à démontrer la même loi. Je prends un diapason monté, comme à l'ordinaire, sur une caisse en bois. Frotté par l'archet, il donne un son très-net et très-pur. Je prends maintenant un tuyau d'orgue qui, par lui-même, donne le même son. A peine le fais-je résonner dans le voisinage du diapason sans toucher d'ailleurs celui-ci, que vous entendez le diapason donner immédiatement le même son. Mais le phénomène ne se vérifie plus quand, au lieu du premier tuyau, je me sers d'un autre tuyau donnant un son différent de celui du diapason.

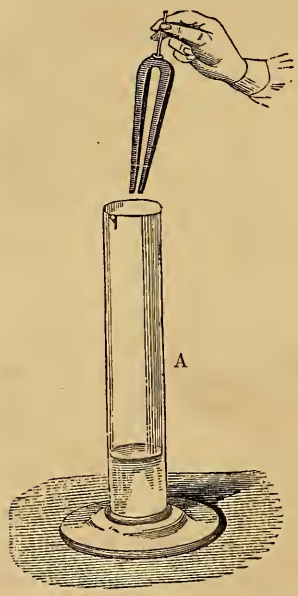


Fig. 17.

Deux diapasons égaux présentent ce phénomène d'une manière très-nette. En les plaçant à une grande distance, l'un résonne aussitôt que l'autre vibre. Cela n'arrive plus si les diapasons ne donnent pas le même son. Pour s'en convaincre, il suffit de prendre deux diapasons différents, ou même d'altérer légèrement le son d'un des deux diapasons précédents, en collant une petite pièce de monnaie contre une de ses branches, au moyen de cire. Il cesse de résonner.

Voici une troisième manière de démontrer cette même loi (fig. 17) :

Je prends un vase cylindrique en verre A et je fais vibrer un diapason au-dessus. Le son du diapason n'est point du tout renforcé.

Mais si je verse peu à peu de l'eau dans le vase, le volume de l'air qui y est renfermé se trouve diminué. En continuant à verser j'arrive à un point où le son se renforce notablement, et, si je continue encore, le phénomène cesse. Je puis ainsi, après quelques tâtonnements, déterminer la quantité d'eau que je dois mettre dans le vase pour obtenir le plus grand renforcement possible. Ce point trouvé, cherchons la cause du renforcement du son. Je prends un vase et je souffle légèrement vers son bord supérieur. Vous entendez un son faible, produit, comme dans les tuyaux d'orgue, par les vibrations de l'air, et ce son est exactement celui du diapason. Si, au contraire, j'ôte de l'eau, ou si j'en ajoute, j'obtiens en soufflant de la même manière, des sons qui n'ont plus rien de commun avec le son du diapason.

On arrive aux mêmes conclusions au moyen du *timbre* de Savart (fig. 18). Un gros timbre A, ébranlé par l'archet,

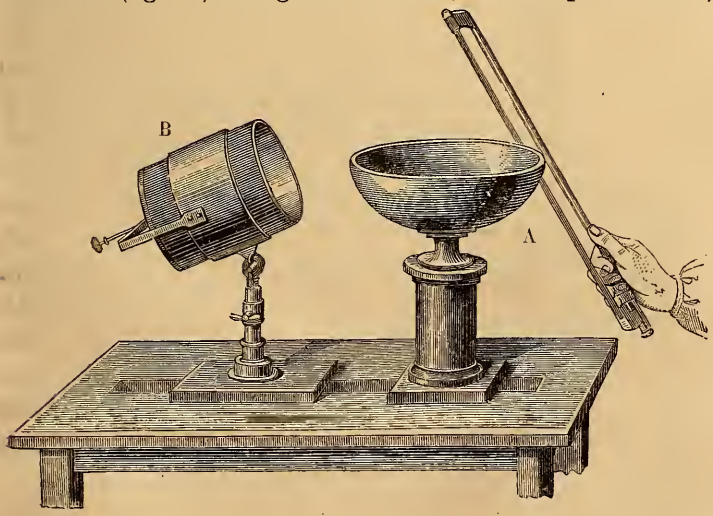


Fig. 18.

donne un son fort. Un cylindre en bois B, vide et à fond mobile, peut en être approché. En déplaçant le fond mobile et en modifiant ainsi les dimensions intérieures du cylindre tourné vers le timbre, on trouve facilement le point qui donne le renforcement maximum. L'effet obtenu est sensible quand on approche le cylindre. Quand le son du timbre est déjà fort, le renforcement produit par le cylindre est très-sensible. L'effet est encore plus sensible quand je laisse diminuer le son du timbre de façon qu'on l'entende à peine ; en rapprochant le cylindre, il redevient très-fort.

4. Ces expériences démontrent donc que le renforcement du son se produit seulement quand, dans le voisinage du corps sonore, se trouvent d'autres corps capables de donner par eux-mêmes le même son. Cette loi importante de la résonnance a beaucoup d'applications.

Les *caisses harmoniques* sont fondées sur ce principe. En effet on peut voir une collection de diapasons qui, par eux-mêmes, donnent des sons très-faibles. Mais ils sont montés sur des caisses de bois, comme dans la fig. 19, où le diapason AC est fixé sur la caisse au moyen du pied B.

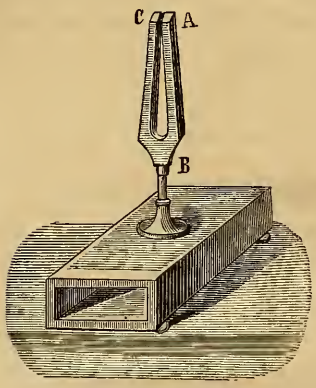


Fig. 19.

Les caisses ont des dimensions différentes suivant les dimensions de leurs diapasons. Ces caisses renferment une quantité d'air déterminée par chaque son. Elles renforcent notablement le son du diapason, pourvu que leurs dimensions soient exactement déterminées.

Nous trouvons une application intéressante de cette loi dans les caisses harmoniques qui ont pris, ces dernières années, une grande importance avec les résonnateurs de

Helmholtz. Ce sont des sphères métalliques vides, de diverses grandeurs, ou encore des cylindres munis de deux orifices. L'un d'eux, le plus grand, *a*, sert seulement à maintenir la communication entre l'air extérieur et l'air intérieur ; l'autre, *b*, le plus petit, a la forme d'un col allongé et est destiné à s'introduire dans l'oreille (fig. 20 et 20 bis).

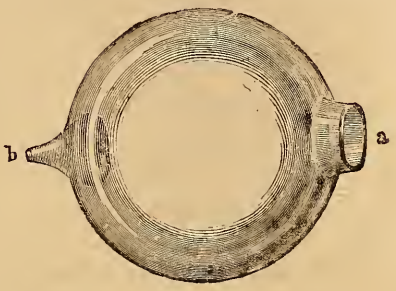


Fig. 20.

Pour s'en servir, il convient d'avoir une série de résonnateurs de différentes grandeurs. Chacun d'eux, suivant le volume d'air qu'il renferme, renforce un seul son ; les plus grands servent pour les sons graves et les plus petits pour les sons aigus.

Les résonnateurs sphériques sont certainement les meilleurs et rendent le phénomène plus net. Néanmoins on emploie quelquefois ceux de forme cylindrique ou même

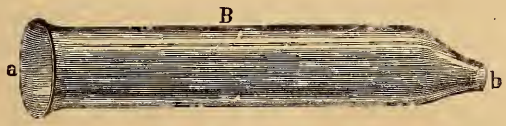


Fig. 20 *bis*.

conique, parce qu'ils tiennent mieux en main et sont plus commodes à manier.

Il est facile de démontrer que ces résonnateurs renforcent les sons, et chacun d'eux un seul son. Je prends une série de diapasons qui donnent des sons correspondant à ceux des résonnateurs. Je fais résonner un des diapasons, j'approche le résonnateur correspondant et on constate aussitôt que le son est renforcé. J'observe encore beaucoup

mieux cet effet si j'introduis dans l'oreille la pointe du résonnateur, et que je ferme l'autre oreille avec la main.

Notez qu'un résonnateur quelconque ne peut produire cet effet qu'associé au diapason correspondant. Supposons qu'il y ait beaucoup de sons mélangés ensemble, notre oreille peut difficilement les séparer. Mais quand on veut savoir si, parmi ces sons, se trouve un son déterminé, il suffit de prendre le résonnateur correspondant et de l'adapter à son oreille. Si le son cherché s'y trouve en effet, il sera renforcé, et on pourra facilement ainsi le reconnaître au milieu de tous les autres.

Voici un exemple de l'emploi des résonnateurs. Je fais résonner tous les diapasons d'une série. Ils me donnent une harmonie très-agréable, dans laquelle néanmoins une oreille peu exercée ne saurait peut-être pas distinguer isolément les sons qui la composent. Au moyen des résonnateurs nous pouvons renforcer chacun d'eux successivement.

Autre exemple. La voix humaine est très-riche en divers sons, et, même quand on parle simplement, on module avec la voix beaucoup plus qu'on ne le croit généralement. Je prends un résonnateur et je le tiens à l'oreille, pendant que je parle avec la voix naturelle. De temps en temps j'entends distinctement dans le résonnateur le son correspondant. Cela prouve que parmi les sons nombreux émis par moi en parlant, il y a spécialement celui auquel le résonnateur se rapporte. On pourrait ainsi, avec un peu de patience, analyser successivement tous les sons émis par une personne qui parle.

Dans un chapitre suivant je montrerai quel parti on peut tirer, à l'exemple d'Helmholtz, de l'usage de ces résonnateurs. Je ferai voir alors (chapitre VIII, page 139) comment on a pu de cette manière découvrir et déterminer une des lois les plus importantes et les plus délicates.

Le cas des résonnateurs et de certaines caisses harmoniques ne doit pas être confondu avec celui des caisses

ou tables d'harmonie associées à certains instruments de musique. Le sonomètre que nous avons décrit, le violon et les autres instruments à archet, le piano, ont des caisses harmoniques destinées à renforcer non-seulement un son isolé, mais encore tous les sons et d'une manière aussi uniforme que possible. Ce serait un très-mauvais instrument de musique, que celui dans lequel les divers sons n'auraient pas la même intensité, quoique se produisant de la même manière. La théorie de ces caisses d'harmonie est beaucoup plus compliquée, et n'est pas facile à développer. Je me bornerai à dire que, pour obtenir un effet de ce genre, il faut que la caisse soit relativement très-grande et présente une forme spéciale indiquée par la pratique. Dans ces conditions, la caisse d'harmonie correspond à un son très-grave; elle est assujettie, comme les cordes vibrantes, à la loi de correspondre, non-seulement au son le plus grave, mais aussi à beaucoup d'autres sons de plus en plus aigus. Pourvu que le son le plus grave soit suffisamment grave, on peut arriver à renforcer un nombre de sons tellement grand qu'on peut le considérer comme infini.

Cela se produit surtout avec les lames, les membranes et avec de grandes tables vibrantes; la pratique enseigne qu'en réalité, en fait de sons renforçables, on peut arriver à d'excellents résultats sous ce rapport.

CHAPITRE IV

LA HAUTEUR DU SON.

1. Mesure du nombre des vibrations, méthode graphique. — 2. Sirène de Cagniard Latour. — 3. Hauteur des sons ; limites des sons perceptibles, des sons musicaux et de la voix humaine. — 4. Diapason normal. — 5. Loi des vibrations des cordes et de sons harmoniques.

1. La seconde qualité caractéristique des sons est la *hauteur*. L'oreille la moins exercée peut distinguer un son haut d'un son bas, même quand la différence n'est pas grande. Je me propose de vous démontrer *que la hauteur dépend du nombre des vibrations exécutées en une seconde par un corps sonore*, c'est-à-dire que les sons bas sont caractérisés par des vibrations peu nombreuses, les sons hauts par un grand nombre de vibrations.

Avant d'aborder cette question, nous devons d'abord résoudre la suivante : comment détermine-t-on le nombre des vibrations? On y parvient en physique par différentes méthodes.

Il y en a une dont j'ai déjà parlé. C'est la méthode graphique, au moyen de laquelle nous avons, dans le chapitre premier (4), tracé les vibrations d'un diapason. Dans cette expérience je me suis servi d'un cylindre que je faisais tourner à la main. Naturellement le mouvement ne pouvait pas être très-régulier; mais si, au lieu de la main, je fais usage d'un des nombreux appareils mécaniques connus, je puis facilement obtenir un mouvement parfaitement régulier et déterminer, par

conséquent, la vitesse de ce mouvement. Supposons, par exemple, que je donne au cylindre une vitesse d'un tour par seconde; le diapason tracera ses vibrations et, pour en connaître le nombre, il n'y aura qu'à compter celles qui sont comprises dans un tour complet du cylindre. Le raisonnement sera le même quand le cylindre fera un nombre quelconque de tours, en une seconde.

Si par exemple le cylindre fait cinq tours, il suffira de compter les vibrations comprises en cinq tours; et la détermination sera exacte pourvu que le nombre de tours faits par le cylindre en une seconde soit compté avec soin. C'est souvent possible, et je décrirai plus tard un *compteur* très-simple avec lequel on mesure le nombre de tours d'un appareil animé d'un mouvement de rotation. Le problème serait donc ainsi résolu, au moins en ce qui concerne les vibrations des diapasons.

2. Mais je vais, à ce propos, décrire un autre instrument qui remplit très-bien cet office et offre, sur le cylindre, l'avantage de ne pas exiger une légère altération du son : ce qui a lieu pour le diapason vibrant, auquel on doit attacher une pointe destinée à tracer les vibrations. Cet instrument est la sirène de Cagniard-Latour.

Les fig. 21, 22 et 23 montrent la disposition de l'ins-

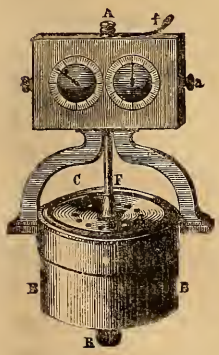


Fig. 21.

Fig. 22.

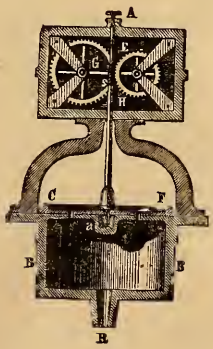


Fig. 23.

trument : il se compose d'un cylindre fixe et creux BBB, lequel peut être ajusté par son col sur une soufflerie destinée à fournir un courant d'air constant. Sur la base supérieure du cylindre se trouve un certain nombre de trous équidistants, et disposés sur la périphérie d'un cercle concentrique au bord de cette base. Ces trous sont percés obliquement, de manière à former avec la verticale un angle d'environ 45 degrés. Au-dessus des trous se trouve un disque métallique C qui les recouvre exactement, et qui peut tourner rapidement autour d'un axe vertical A. Ce disque porte un nombre égal de trous correspondant exactement, comme position et comme grandeur, à ceux du disque de dessous. Ces trous sont aussi percés obliquement, mais ont une direction différente ; ils forment bien avec la verticale un angle de 45 degrés, mais ils font, avec la direction des autres trous, un angle de 90°. La fig. 22 montre une coupe des deux disques, fixe et mobile, et la disposition des trous. Le trou p est oblique dans un sens, le trou p' est oblique en sens contraire. Dans la fig. 23 se trouve figurée la section de tout l'appareil ; on voit la caisse cylindrique vide B de la sirène, le disque mobile CF et l'axe Aa autour duquel tourne le disque. Quand, au moyen de la soufflerie, on fait passer un courant d'air dans le cylindre, ce courant traverse les trous ; mais en même temps, en raison de leur obliquité, il se heurte contre leurs parois.

Le disque mobile reçoit ainsi une série de chocs, tous dans le même sens, et commence à tourner. Il tourne rapidement quand le courant est fort, lentement quand il est faible ; et, en chargeant convenablement la soufflerie, on peut régler à volonté la force du courant et, par suite, la vitesse de rotation du disque mobile.

Mais le courant d'air qui entre dans le cylindre d'une manière continue, ne peut passer à travers les trous que d'une manière intermittente, aussitôt que le disque mobile commence à tourner. La raison en est bien simple. Chaque

fois que les trous du disque mobile se placent sur les trous du disque fixe, l'air passe ; il est, au contraire, arrêté quand les trous du disque mobile coïncident avec les intervalles pleins du disque fixe. Il s'ensuit que l'air doit sortir de la sirène sous la forme de petites bouffées, qui seront d'autant plus fréquentes que le nombre des trous sur l'un et l'autre disque sera plus grand, et que la vitesse de rotation du disque mobile sera plus forte. Supposons, par exemple, que chaque disque ait vingt-cinq trous, comme c'est le cas de ma sirène (le dessin n'en indique que huit, mais le nombre est arbitraire). Supposons de plus que sa vitesse de rotation soit d'un tour par seconde. Dans ce cas, chaque trou du disque supérieur laissera passer vingt-cinq bouffées d'air par seconde. Si le disque mobile fait 2, 3, 4, etc., tours par seconde, pour trouver le nombre des bouffées d'air produites par chaque trou nous devrons multiplier le nombre des trous, qui est de 25, par 2, 3, 4, etc., et en général par le nombre de tours que le disque fait à la seconde.

Vous entendez ce qui se produit quand je mets la sirène en mouvement. C'est un son très-net, grave en commençant, quand le disque tourne lentement, de plus en plus aigu à mesure que croît la vitesse du disque. Le son se produit parce que l'air extérieur au-dessus de l'instrument est heurté régulièrement par les bouffées d'air sortant de la sirène. Ces chocs périodiques produisent dans l'air extérieur des vibrations, dont le nombre correspond évidemment au nombre des chocs reçus. Nous pouvons donc, en chargeant la soufflerie à volonté, produire le son que nous voulons, grave ou aigu ; nous pouvons en même temps calculer le nombre des vibrations correspondantes, pourvu que nous ayons un moyen de déterminer le nombre de tours que l'instrument fait en une seconde.

Ce but est rempli par un compteur très-simple, qui se trouve à la partie supérieure de l'instrument et est représenté fig. 23. Au disque mobile C F est attaché un arbre

d'acier vertical *A a*, lequel porte à sa partie supérieure quelques spires S d'une vis dite *vis sans fin*. Sur cette vis engrènent les dents d'une roue dentée E H, laquelle se déplace d'une dent par chaque tour de l'arbre et du disque mobile. A l'axe de la roue dentée est fixé un index, comme dans les horloges (voir fig. 21); une graduation permet d'observer ses mouvements, et par suite, aussi ceux de la roue dentée. Chaque petite division correspond à une dent de la roue, ou à un tour du disque mobile de la sirène. La roue dentée a cent dents; par suite, la graduation sous l'index a cent divisions disposées sur un cercle complet. Une seconde roue dentée G, avec un second index et une seconde graduation, est disposée de manière qu'à chaque centaine de tours exécutés par la première roue, la seconde avance d'une dent, et son index d'une division. Les divisions de cette seconde roue donnent donc toujours les centaines de tours, pendant que celles de la première marquent les tours simples.

Ce système permet de déterminer facilement le nombre des tours que fait la sirène dans un temps donné, quel que soit ce nombre. Pour faciliter la tâche, les roues dentées peuvent se rapprocher et s'éloigner à volonté de l'arbre principal au moyen du bouton *a* (fig. 21), lequel permet un petit déplacement latéral; les roues ne se mettent donc en mouvement que si on le veut et lorsqu'on le veut.

Je vais maintenant montrer par un exemple comment on manie l'instrument. Je prends un diapason et je détermine le nombre de vibrations correspondant au son qu'il émet. L'opération se réduit à ceci :

1° Reproduire avec la sirène le même son, de façon à le maintenir constant pendant un certain temps.

2° Le son obtenu, mettre en mouvement un chronomètre à secondes et le compteur de la sirène, et déterminer ainsi le nombre de tours faits en une seconde.

Ces deux opérations se font facilement; la première en

chargeant convenablement la soufflerie. Observez, en effet, ce qui arrive. Le son de la sirène est d'abord très-bas : il s'élève lentement et, au bout de quelque temps, arrive à se maintenir à une hauteur constante. C'est que le courant d'air est juste suffisant pour vaincre les résistances de l'instrument pour la vitesse donnée. Mais le son de mon diapason est plus élevé ; pour l'atteindre, je charge un peu plus la soufflerie. Vous entendez le son s'élever tout à coup ; après quelques tâtonnements, je trouve le poids dont je dois charger la soufflerie pour obtenir le son du diapason et le conserver. Vous remarquez que le son se maintient constant pendant un certain temps, durant lequel je puis exécuter commodément la seconde opération.

Cela fait, j'observe la position exacte des index, je mets en mouvement mon chronomètre, et, au moment voulu, le compteur de la sirène, que je laisse marcher pendant dix secondes. Il vaut toujours mieux opérer pendant plusieurs secondes parce que la petite erreur provenant du temps qu'il a fallu pour mettre en mouvement le compteur, est moins sensible.

Au bout des dix secondes, j'arrête le compteur, et par la position des index, je vois combien l'instrument a fait de tours. Si je trouve 358 tours pour 10 secondes, je sais qu'à une seconde correspondent 35,8 tours. Pour connaître maintenant le nombre de vibrations, comme le disque de la sirène a 25 trous, je multiplie 35,8 par 25 et je trouve 895 vibrations.

Le diapason que j'ai pris ici pour exemple, donne donc un son de 895 vibrations à la seconde.

Nous pouvons opérer de la même façon dans tous les cas de ce genre. La sirène se prête très-bien aux recherches de cette nature. Elle réclame seulement une oreille exercée, pour qu'elle puisse reproduire avec exactitude un son déterminé.

Ainsi, soit qu'on veuille recourir à la méthode graphique, soit qu'on veuille faire usage de la sirène, nous savons qu'il est possible de déterminer les nombres de vibrations d'un très-grand nombre de sons, j'allais dire de tous.

3. Je vais indiquer les résultats les plus importants auxquels on arrive sous ce rapport par un examen minutieux et exact des faits. Quelle est la limite des sons sensibles ? Notre oreille perçoit-elle comme un son un nombre quelconque de vibrations, ou notre sensation ne s'exerce-t-elle qu'entre certaines limites ? Qu'il y ait une limite inférieure, c'est ce qui se démontre facilement au moyen de la sirène. Quand on met la sirène en mouvement, et quand elle tourne avec lenteur, on entend séparément les bouffées isolées d'air, mais on n'entend pas un son. Un son très-grave commence seulement à se produire quand la sirène tourne un peu plus vite. D'expériences plus exactes il résulte qu'il faut au moins seize vibrations à la seconde, pour qu'il se produise un son; et même cette limite ne s'atteint qu'en employant un instrument très-énergique, c'est-à-dire un instrument capable de produire des sons très-intenses. Dans les autres cas, comme par exemple dans celui de la sirène commune, il faut vingt ou vingt-cinq vibrations pour produire un son appréciable.

Il est plus difficile de fixer une limite supérieure au son. Si je charge successivement la soufflerie, la sirène tourne toujours de plus en plus vite, le son devient de plus en plus aigu et finalement strident, désagréable.

Mais avec cette sirène, il ne serait pas possible d'obtenir une vitesse dépassant une certaine limite, parce que les résistances s'opposent à une très-grande rapidité. Pour résoudre la question, Despretz s'est servi de diapasons de plus en plus petits, et il est arrivé à démontrer qu'il existe pour le son une limite supérieure au-delà de laquelle notre oreille ne perçoit plus rien.

Cette limite fut fixée par lui aux environs de 38000 vibrations par seconde, chiffre qui a été dernièrement accepté par Helmholtz; mais il est probable qu'il diffère suivant les individus. Nous pouvons en conclure que les vibrations sonores sont comprises entre les limites de 16 et de 38000 vibrations par seconde.

Mais tous les sons compris entre ces limites extrêmes ne sont pas des sons musicaux proprement dits, c'est-à-dire, des sons dont la musique pratique puisse se servir. Les sons trop bas s'entendent mal, les sons trop aigus sont désagréables. Pour le piano moderne de sept octaves complètes, le *la* grave correspond à environ 27,5 vibrations, le *la* le plus aigu à 3480 vibrations; en tenant compte des différences d'accord, on peut dire que les sons du piano ont des vibrations comprises entre 27 et 3500 par seconde. Pour le violon la quatrième corde à vide (le son le plus grave) correspond à environ 193 vibrations, le son le plus aigu à environ 3500.

Ce chiffre n'est cependant pas le plus élevé. Certains pianos vont jusqu'au septième *ut* qui correspond à 4200 vibrations, et la petite flûte arrive jusqu'à 4700 et plus. Mais l'avantage que la musique trouve à s'étendre ainsi est très-douteux. Les sons trop aigus sont stridents, et perdent entièrement le timbre plein et agréable qui fait le caractère principal des sons musicaux. On peut en conclure sans exagération que les sons musicaux sont compris entre 27 et 4000 vibrations.

Il est intéressant de connaître les limites entre lesquelles se meut la voix humaine. Nous devons distinguer entre la voix d'homme et la voix de femme, laquelle est représentée par un nombre de vibrations double de celle de l'homme. Dans chacune d'elles on établit ensuite, pour les besoins de la musique, trois subdivisions; on a ainsi pour l'homme les voix de basse profonde, de baryton et de ténor; pour la femme les voix de contralto, de mezzo-soprano et de soprano.

Le tableau suivant donne les limites de ces voix pour le cas normal ; c'est ce qu'on est en droit de demander à un bon chanteur exercé. Les chiffres écrits entre parenthèses représentent les cas de voix exceptionnelles que le théâtre a possédés jusqu'ici.

LIMITES DE LA VOIX HUMAINE.

	si	mi	ré	fa
Basse.....	[61]	82.....	293	[348]
	ré	fa	fa	sol
Baryton.....	[73]	87.....	370	[392]
	sol	la	la	ut ♯
Ténor.....	[98]	109.....	435	[544][1].
	ut	mi	fa	la
Contralto.....	[110]	164.....	696	[870]
	mi	fa	la	si
Mezzo soprano.	[164]	174.....	870	[977]
	sol	la	ut	mi
Soprano.....	[196]	218.....	1044	[1305]

La voix bien développée d'un chanteur isolé embrasse environ deux octaves, chez la femme quelque chose de plus. Les limites extrêmes de la voix humaine (homme et femme réunis) peuvent être fixées entre quatre octaves, de l'*ut* = 65 jusqu'à l'*ut* = 1044, sans comprendre les cas extrêmes [2].

4. Une question d'une certaine importance pratique a été posée et résolue dans ces derniers temps : c'est celle d'établir un diapason normal pour tous les pays, afin d'accorder uniformément les instruments. On se sert généralement pour cet usage d'un petit diapason donnant le *la* qui corres-

1. Le fameux *ut* ♯ de Tamberlick, beaucoup trop vanté.

2. Quelques voix, merveilleusement douées, ont eu des limites plus étendues ; celles de la Cruvelli, de la Catalani, de la Patti et de la Nilsson resteront célèbres à ce titre. La voix la plus aiguë paraît avoir été celle de la Bastardella, que Mozart a entendue à Parme en 1770, qui avait 3 octaves et demie et arrivait presque à 2000 vibrations. La voix des castrats, et spécialement celle du célèbre Farinelli, avait aussi des limites très-étendues.

pond à la seconde corde à vide du violon; c'est, sur un piano complet de sept octaves, le cinquième *la* à partir du son le plus grave. Tous les principaux théâtres d'Italie et d'Europe avaient adopté des diapasons différents entre eux; quelquefois sur le même théâtre, le *la* allait successivement en s'élevant. En 1700, il faisait à Paris 405 vibrations; plus tard, 425; en 1855, 440; en 1857, 448. Ce dernier chiffre subsiste encore au théâtre de Berlin, tandis que le diapason de la Scala (Milan) correspond à 451 1/2 et celui du théâtre de Londres à 455.

Ce fait était très-désagréable pour les chanteurs dont il n'était pas facile de satisfaire les exigences, sensiblement différentes dans des climats divers; l'inconvénient était d'autant plus grave, si l'on considère que la musique moderne, pour renforcer les effets, se porte de préférence vers les sons extrêmes, surtout à l'aigu, et demande par conséquent beaucoup aux chanteurs. Ajoutez à cela la tendance des constructeurs d'instruments, notamment des instruments de cuivre, à élever toujours le diapason pour obtenir une plus grande sonorité. Comme on l'a vu par l'exemple de Paris, il était arrivé que, depuis le siècle dernier jusqu'à nous, le diapason s'était partout notablement élevé et tendait à s'élever encore. Il était donc nécessaire de porter remède à ce grave inconvénient et une commission internationale a fixé le nombre des vibrations du diapason normal à 435 vibrations par seconde.

5. Je terminerai ici par la démonstration d'une loi importante à laquelle on arrive en étudiant les nombres de vibrations d'une corde. Quand la corde vibre tout entière dans une vibration unique, elle donne le son le plus grave, celui que nous avons appelé le son fondamental. Si nous divisons la corde, en la touchant avec le doigt ou avec une plume, en deux, en trois, en quatre, etc., parties, nous obtenons des sons de plus en plus aigus, lesquels forment ce qu'on appelle une *série harmonique*.

Ces sons de la série harmonique ne sont pas des sons pris au hasard. Ils sont très-agréables à l'oreille et en rapport avec le son fondamental ; ils ont en outre une grande importance, comme nous le verrons dans la suite, pour la théorie de la musique et des instruments de musique.

On peut maintenant se demander s'il existe une loi simple qui régisse ces sons, de même qu'il y a une loi simple qui préside à leur formation.

Pour répondre à cette demande, il suffit de déterminer le nombre des vibrations de la corde pour le son fondamental et pour les harmoniques successifs. L'expérience, répétée plusieurs fois avec soin, nous démontre qu'il existe des rapports simples entre tous ces sons. En effet, supposons que le son fondamental fasse par exemple 128 vibrations; le second harmonique, celui qui s'obtient en divisant la corde en deux, fait alors deux fois 128 vibrations ou 256; le troisième harmonique, celui qui s'obtient par la division de la corde en trois parties, trois fois 128, ou 384 vibrations, et ainsi de suite. Donc, en appelant 1 le son fondamental, ses harmoniques sont exactement représentés, par rapport à leurs nombres de vibrations, par les nombres 2, 3, 4, etc. En considérant le mode de formation de ces sons, on arrive aux deux lois suivantes :

1° Les sons harmoniques croissent, par rapport au nombre de leurs vibrations, comme les nombres simples;

2° Le nombre des vibrations d'une corde est toujours en raison inverse de sa longueur.

Cette seconde loi est exacte dans tous les cas, et quel que soit le son que l'on fasse rendre à une corde, ce qui se démontre très-facilement sur le sonomètre. Outre les deux chevalets fixes sur lesquels repose la corde, il y a un troisième chevalet mobile, destiné précisément à faire donner à la corde un son déterminé. Une échelle, divisée en centimètres et millimètres, permet de mesurer, dans chaque cas, la longueur de la corde. Le sonomètre ainsi construit nous offre

le moyen le plus simple et le plus rapide de déterminer le nombre des vibrations correspondant à un son. Voici comment on opère en pareil cas. On tend la corde du sonomètre, de façon qu'en vibrant dans toute sa longueur d'un mètre, elle donne un son déterminé et toujours le même, par exemple, de 128 vibrations. Quand la corde est ainsi accordée, le sonomètre est en état de fonctionner immédiatement. En effet, s'agit-il de connaître le nombre des vibrations d'un autre son, en faisant courir le chevalet et en accordant la corde, on reproduit exactement ce son, et la division placée sous la corde nous donne sa nouvelle longueur. Supposons qu'elle soit, par exemple, de 432 millimètres ; comme le nombre des vibrations est en raison inverse de la longueur de la corde, nous aurons la proportion suivante :

$$432 : 1000 = 128 : x$$

$$\text{d'où } x = \frac{128 \times 1000}{432} = 296.$$

Ce son résulte donc de 296 vibrations par seconde. Cette méthode pour déterminer le nombre des vibrations est la plus simple de toutes ; en théorie elle est exacte, dans la pratique elle est d'une exactitude suffisante, pourvu que la corde ne soit pas trop rigide, et elle peut s'appliquer dès que la loi des vibrations des cordes se trouve établie.

CHAPITRE V

LES SONS ET LES ACCORDS MUSICAUX.

1. Sons musicaux. — 2. Loi des rapports simples. — 3. Unisson, interférences. — 4. Battements. — 5. Leur explication. — 6. Sons résultants. — 7. Octave et autres sons harmoniques. — 8. Accords consonnants et leur limite. — 9. Quarte, quinte, sixte et tierce majeures, tierce et sixte mineures. — 10. Le septième harmonique.

1. Dans le précédent chapitre nous avons dit que tous les sons existant dans la nature ne sont pas des sons musicaux proprement dits. Pour qu'un son soit musical, il faut qu'il satisfasse à la condition essentielle d'être agréable à l'oreille. C'est pourquoi nous devons écarter tous les sons produits par des instruments imparfaits, quelle que soit d'ailleurs leur hauteur. Il faut écarter tous ceux qui sont trop hauts ou trop bas, parce qu'ils sont désagréables ou insignifiants.

Restent donc les sons compris à peu près entre 27 et 4000 vibrations, qui forment un intervalle d'un peu plus de sept octaves ; c'est entre ces limites que se meut la musique de tous les pays et de tous les temps.

Mais ce serait une grave erreur de croire qu'entre ces limites, tous les sons peuvent être employés à volonté ou au hasard. L'expérience enseigne que chacun d'eux peut être choisi pour exécuter ou pour commencer un morceau musical. Mais, ce son une fois choisi, les autres sons qui

doivent le suivre ou l'accompagner sont limités et se meuvent dans un cercle restreint. Cette restriction ne s'applique pas seulement à notre musique moderne, elle a été observée aussi dans la musique de tous les temps. Il n'y a pas d'exemple connu d'un système musical, quelque barbare qu'il soit, dans lequel le choix des sons soit laissé à l'arbitraire du compositeur ou de l'exécutant.

L'histoire de la musique nous enseigne, au contraire, qu'on a toujours cherché à choisir, parmi l'immense quantité des sons possibles, un nombre très-petit de sons réglés par certaines lois esthétiques où l'instinct musical était parfois associé à des spéculations scientifiques de valeur, avec prédominance alternative de l'un ou de l'autre élément.

Nous examinerons dans la suite les différentes hypothèses qui, instinctivement ou rationnellement, ont servi de guide aux différents peuples dans le développement historique de la musique. En ce moment je me bornerai à dire que, pour notre musique moderne, l'art a devancé de beaucoup la science ; celle-ci n'est même parvenue que dans ces derniers temps à donner une explication complète et rationnelle de ce que l'art avait élaboré avec un sentiment esthétique très-fin.

2. Nous pouvons établir comme un des principes fondamentaux de notre musique, que l'oreille ne tolère les sons, simultanés ou successifs, qu'à la condition que *les nombres de leurs vibrations soient entre eux dans des rapports simples*, c'est-à-dire dans des rapports exprimés par des chiffres simples.

Nous verrons plus loin toute la portée de ce principe simple, et comment, grâce aux grands travaux d'Helmholtz, il a acquis dans les dernières années, malgré sa grande simplicité, une signification encore plus large. Pour le moment je veux me contenter de définir les conséquences les plus importantes de ce principe.

Ce n'est pas sans une certaine hésitation que je traiterai ici cette question. Il me faudra aligner une énorme série de chiffres sur lesquels mon raisonnement sera fondé tout entier. C'est une voie un peu ardue et assez épineuse que je me propose de parcourir. Mais j'espère que vous vous trouverez dans le cas du voyageur qui gravit courageusement les flancs abrupts et escarpés d'une montagne, pour jouir à la fin d'un vaste et grandiose panorama. J'espère vous démontrer aussi, qu'au sommet de ces raisonnements se déroule un horizon très-étendu, sur lequel se trouve la synthèse d'une des grandes créations de l'imagination, création qui est une des plus brillantes pages de l'histoire de la civilisation humaine.

3. Le rapport le plus simple que nous puissions imaginer entre deux sons, est celui où tous les deux sont représentés par un nombre égal de vibrations. Nous disons dans ce cas qu'ils sont à l'*unisson*. S'ils résonnent successivement, ils ne forment qu'un seul son plus prolongé ; s'ils résonnent simultanément, ils ne donnent qu'un son d'intensité double. Il arrive quelquefois que deux sons égaux, au lieu de s'ajouter mutuellement, s'affaiblissent dans leurs effets réciproques. Les cas de ce genre s'appellent *interférences*. Les interférences se produisent quand les vibrations de l'un et de l'autre son se font à contre-temps, c'est-à-dire quand le corps vibrant du premier son fait un mouvement dans une direction donnée, pendant que l'autre fait le mouvement précisément contraire. On comprend que des mouvements vibratoires ainsi dirigés en sens contraire, se superposant dans l'air où ils se propagent, doivent se détruire dans leurs effets ; car une molécule d'air qui devrait se mouvoir pendant le même temps et avec la même force dans deux directions contraires, ne pouvant suivre ni l'une ni l'autre direction, reste immobile.

L'appareil (fig. 24) nous permet de produire des interférences à volonté. Il se compose d'une lame vibrante où se

forme une figure de Chladni avec les concamérations vibrantes A, B, A′, B′. Les vibrations dans deux concamérations voisines, par exemple en A′ et B′, se font à contretemps, car les molécules en A′ s'abaissent quand celles

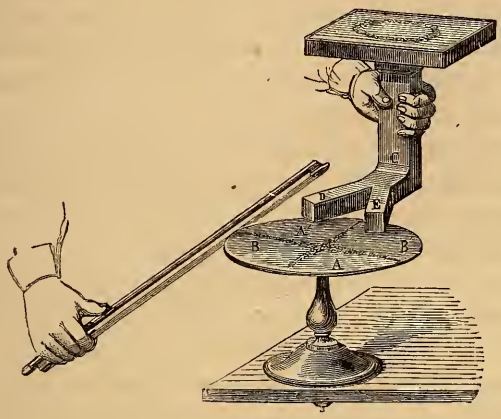


Fig. 24.

en B′ s'élèvent et réciproquement ; ou elles sont égales comme A et A′. D C E est un tuyau bifurqué qui donne par lui-même le son de la lame, et est fermé à la partie supérieure par une feuille de papier, destinée à indiquer les vibrations qui se produisent dans le tuyau.

Cela posé, je fais vibrer la lame; le sable m'indique tout de suite la manière dont elle vibre. Je place, mais sans toucher la lame, les branches D et E du tuyau sur deux points, comme A et A′, qui ont un mouvement identique. Le sable de la membrane saute et se dispose d'une manière régulière ; cela signifie que l'air vibre dans les tuyaux, parce que les vibrations de A et de A′ s'ajoutent dans leurs effets. Je place maintenant les branches du tuyau sur deux points A′ et B′ de mouvement opposé ; l'effet est nul, le sable ne sautille plus.

De tout cela nous pouvons conclure que, *quand deux mou-*

vements vibratoires égaux et simultanés se superposent, ils s'ajoutent : qu'ils se détruisent au contraire dans leurs effets quand ils sont égaux mais de sens contraire.

4. Il est intéressant de savoir ce qui arrive quand il se produit simultanément deux sons qui sont presque, mais non complétement identiques, et par suite n'ont pas exactement le même nombre de vibrations. Il se produit alors un phénomène nouveau, connu sous le nom de *battements*.

Je veux avant tout montrer ce que sont ces battements. Je prends deux tuyaux d'orgue très-grands, égaux entre eux, et qui me donnent deux sons graves, forts et parfaitement identiques. Je les place sur la soufflerie et je les mets successivement en action. Les sons sont réellement les mêmes. En faisant résonner les deux tuyaux en même temps, j'obtiens de nouveau le même son avec une intensité double, et rien de plus.

Mais les tuyaux sont construits de manière que je puisse facilement faire monter un peu le son de l'un ou de l'autre. A cet effet se trouve sur une des parois, en haut du tuyau, une ouverture fermée par une tablette mobile. En abaissant plus ou moins cette tablette, j'agrandis plus ou moins cette ouverture et j'obtiens ainsi un effet comparable à celui qui se produit quand on raccourcit le tuyau. Le son monte légèrement, et au moyen de la tablette mobile je puis le régler à volonté.

Cela posé, je fais monter légèrement le son dans un des tuyaux. La différence entre les deux sons est si petite qu'une oreille, même exercée, ne pourrait pas facilement l'apprécier pour des sons aussi graves. Mais, si l'on fait résonner les deux tuyaux ensemble, on a un son d'intensité variable, tantôt fort tantôt faible, et nous entendons des renforcements ou des chocs bien marqués. Ces chocs sont précisément des *battements*. Dans ce cas, les battements étaient très-lents. Il y en avait à peu près un par seconde. Cela vient de ce que les sons

des tuyaux sont très-peu différents l'un de l'autre. Si au contraire je les rends un peu plus différents, en haussant davantage le son du premier tuyau, les battements deviennent plus fréquents. Je puis faire en sorte d'en avoir 2, 3, 4, 5, 10 à la seconde. Dans ce dernier cas, il est difficile de les compter; mais on les entend distinctement, et il paraît qu'on peut les distinguer encore quand ils sont au nombre de 20 ou même de 25 par seconde. Au-delà l'oreille les confond.

Des battements de ce genre sont très-fréquents. Dans les instruments à sons fixes et vigoureux comme l'orgue, par exemple, on les entend souvent. Ils sont un signe certain que l'instrument n'est pas d'accord, et offrent un moyen très-simple et très-exact pour mettre à l'unisson deux sons peu différents l'un de l'autre. Il suffit de les accorder jusqu'à ce qu'ils cessent de battre.

Dans le son des cloches le phénomène des battements est très-fréquent. En effet, il n'est pas possible de fondre une grande cloche de manière qu'elle présente, en tous ses points, une homogénéité parfaite, une densité, une élasticité toujours égales. La cloche se divise donc facilement en deux parties non parfaitement égales, qui vibrent d'une manière un peu différente, et engendrent ainsi des battements.

5. On peut facilement s'expliquer comment se produisent les battements. Supposons deux sons qui correspondent exactement au même nombre de vibrations. Sauf un cas spécial d'interférence que nous ne voulons pas considérer ici, les vibrations de deux corps se superposent dans leurs effets et produisent un son d'une intensité double. Mais si deux sons ne sont pas exactement à la même hauteur, le phénomène est plus compliqué. Supposons, par exemple, que le premier son fasse cent, le second cent une vibrations par seconde.

Si nous les produisons ensemble, les premières vibra-

tions, presque égales pour l'un et pour l'autre, s'additionneront dans leurs effets et produiront un son plus fort. Mais à la cinquantième vibration du premier son correspondent cinquante vibrations et demie du second. Or, comme, dans une vibration, il y a toujours une moitié du mouvement dans laquelle le corps va dans une direction, et l'autre moitié dans laquelle il se meut dans une direction contraire, il s'ensuit que, pour la cinquantième vibration du premier son et pour la vibration correspondante du second, les mouvements seront contraires, et il y aura par suite un son sensiblement nul ou au moins notablement affaibli. A la centième vibration du premier son correspond la centunième vibration du second; à ce moment les effets devront de nouveau s'ajouter et ainsi de suite. On voit donc que, pour toute différence d'une vibration, il devra y avoir un renforcement puis un affaiblissement du son, autrement dit, un battement par seconde. Si donc nous avons deux sons différant de 2, 3, 4, 5, 10 vibrations par seconde, nous devrons avoir 2, 3, 4, 5, 10 battements; et le nombre de ces derniers, très-facile à observer, nous donne une mesure précise de la différence des nombres de vibrations des deux sons. C'est un moyen pratique très-sûr pour les déterminations de ce genre, parce qu'il nous rend indépendants, pour ainsi dire, de notre oreille, ou parce qu'au moins il ne réclame pas une oreille très-fine.

Le phénomène des battements se produit non-seulement quand deux sons sont presque à l'unisson, mais aussi quand ces sons se trouvent, par rapport au nombre des vibrations, non pas exactement, mais presque dans un autre rapport simple. Supposons, par exemple, que les nombres de leurs vibrations soient comme 1 : 2. Si le rapport est exact, il n'y a pas de battements; si au contraire le rapport n'est pas exact, il se produit tout à coup des battements. Pour en fournir la preuve, je prends deux tuyaux donnant le son fondamental et l'octave, et dont je peux, à

volonté, modifier légèrement la hauteur. Ils sont maintenant bien d'accord; si je les fais résonner ensemble, ils ne me donnent point de battements et leur accord est agréable : on entend comme une seule note, plus claire et plus pleine. Mais pour peu que j'altère un des deux sons, il surgit aussitôt des battements désagréables qui gâtent l'accord.

Il est facile, par un raisonnement analogue au précédent, de rendre compte de ce fait. Je me bornerai, pour le moment, à conclure que les battements sont le moyen le plus simple et le plus sûr de constater que deux sons ne se trouvent pas accordés exactement de manière que leurs vibrations soient représentées par des rapports simples. Comme ces rapports simples sont une condition nécessaire des accords agréables à l'oreille, l'existence des battements est une preuve certaine que les instruments ne sont pas bien accordés.

6. Les sons résultants, dont la découverte, faite au milieu du siècle dernier, est généralement attribuée au célèbre violoniste Tartini, sont dans une relation étroite avec le phénomène des battements; ils proviennent de la combinaison de deux sons. Il n'est pas facile d'en donner la théorie. Jusqu'à présent on disait que quand les battements deviennent très-fréquents, de façon à dépasser le nombre de 16 à la seconde, ils engendrent à leur tour un son très-grave qui est précisément le son résultant. Supposons, en effet, qu'on ait deux sons, faisant l'un cent et l'autre cent vingt-cinq vibrations à la seconde. Ils doivent donner 25 battements, lesquels engendrent un son de 25 vibrations. On a ainsi trois sons, les deux sons primitifs de 100 et de 125 vibrations et le son résultant de 25.

Mais cette explication, si simple qu'elle paraisse et si appropriée qu'elle semble au résultat final, donne lieu à des objections sérieuses sur lesquelles il me serait impossible d'insister davantage. La véritable théorie des sons résultants ne peut être donnée qu'au moyen du calcul. Je

dois donc me borner ici à dire que les sons résultants sont de vrais sons de *différence*, en ce sens que le nombre de leurs vibrations correspond réellement à la différence des deux sons composants. Ainsi, dans l'exemple cité ci-dessus, quand on combine ensemble deux sons, l'un de 100, l'autre de 125 vibrations, on a un son résultant qui correspond en réalité à 25 vibrations par seconde.

Une expérience facile permet de faire entendre ces sons. Je prends deux tuyaux d'orgue, dont l'un fait 200 et l'autre 250 vibrations. Ils donnent un accord représenté par le rapport $\frac{5}{4}$; cet accord, nous le verrons plus tard, s'appelle en musique *tierce majeure*. Mais, quand ils résonnent ensemble, outre ces deux sons, on entend très-distinctement un son grave qui correspond à 50 vibrations par seconde, nombre qui est le quart de 200, ou la moitié de la moitié. Nous verrons plus tard que la moitié signifie l'octave grave d'un son et, par suite, la moitié de la moitié représente la seconde octave grave du même son. Donc le son résultant ici formé doit être la seconde octave grave du son de 200 vibrations; avec quelque attention, on le reconnaît.

Les sons résultants se produisent chaque fois que nous associons ensemble deux sons différents, et nous avons maintenant une règle simple pour les déterminer : *le nombre des vibrations du son résultant est toujours égal à la différence des nombres de vibrations des sons composants.* Comme dans la théorie du son il importe beaucoup plus de connaître les rapports entre les différents sons que le nombre absolu de leurs vibrations, on exprime les différents sons en chiffres simples ; dans ce cas le son résultant est aussi exprimé en chiffres simples.

Ainsi, dans l'exemple ci-dessus cité, on pourra dire que nous avons associé ensemble les sons 4 et 5, parce que le rapport de ces 2 nombres est le même que celui des nom-

bres 200 et 250. Le son résultant est alors representé par la différence 1.

Les sons résultants ont une grande importance pour la théorie de la musique, et je vais encore le démontrer dans ce chapitre. Comme ils sont quelquefois très-forts, il importe d'en tenir compte, ainsi que de leurs rapports avec les autres sons. Lorsque nous associons ensemble plusieurs sons, il ne suffit donc pas de rechercher si, par eux-mêmes, ils donnent un accord agréable, il faut examiner ensuite les sons résultants et voir comment ils se comportent par rapport aux sons composants.

Ajoutons que les sons résultants sont de véritables sons ayant une existence réelle; ils peuvent se combiner entre eux, et produire de nouveaux sons résultants qui sont dits sons résultants du second ordre. Ceux-ci à leur tour ont des sons résultants de troisième, de quatrième ordre, etc. Mais, comme ces derniers sont très-faibles, comme une oreille, même très-exercée, ne réussit plus à les distinguer, on les néglige dans la très-grande majorité des cas.

7. Après l'unisson, le rapport le plus simple que nous puissions imaginer est celui de 1 à 2. C'est ce qu'on appelle le rapport d'*octave*. Nous appelons octave du son fondamental celui qui fait un nombre de vibrations double du premier. Doubler le nombre des vibrations signifie élever un son à l'octave, et, *vice versâ*, réduire à moitié le nombre des vibrations signifie descendre à l'octave grave. L'octave de l'octave est représentée par un nombre quadruple, la troisième octave par un nombre huit fois plus grand de vibrations, etc.; la seconde, la troisième octave au-dessous sont représentées par $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, etc., des vibrations du son fondamental.

L'accord de l'octave avec le son fondamental est très-consonnant. Si les deux sons ont été parfaitement accordés, ce qui se reconnaît à l'absence absolue de battements,

l'oreille ne les distingue pas l'un de l'autre. On entend, pour ainsi dire, un son ouvert et clair, avec une légère modification dans le timbre. Les Grecs qui n'employaient point dans leur musique l'harmonie proprement dite, admettaient cependant les chants à l'octave. Cela se comprend facilement si on considère que la voix des femmes et des jeunes garçons est d'une octave plus haute que celle des hommes adultes ; un chœur chanté par ces voix réunies doit se présenter nécessairement comme accompagné en octave. Le son résultant des sons 1 et 2 est 1, ce qui veut dire que, dans l'accord du son fondamental et de l'octave, le son résultant renforce le son fondamental. D'autres rapports simples sont fournis par le son fondamental 1 uni à l'un des sons de la série harmonique 2, 3, 4, etc. Le son 2, comme nous l'avons vu, représente l'octave ; le son 3 la *douzième* ou, comme on peut dire aussi, par des raisons que nous verrons plus tard, la *quinte de l'octave*, le son 4 l'octave de l'octave, etc.

Tous ces sons forment avec le son fondamental des accords agréables. Leur seul défaut, au point de vue musical, c'est d'être très-éloignés du son fondamental. Néanmoins ces accords, bien qu'un peu vides, ne sont point désagréables à l'oreille et s'emploient souvent sur le violon et sur d'autres instruments à archet. Leur caractère fondamental, c'est que leurs sons résultants appartiennent aussi à la série harmonique. Ainsi, par exemple, le son résultant de 1 et de 3 est 2 ; celui de 1 et 4 est 3, et ainsi de suite ; les sons résultants d'ordre supérieur viennent donc en dernière analyse renforcer le son fondamental.

8. Mais la musique serait extrêmement pauvre, si elle voulait se borner à ce petit nombre de sons, d'ailleurs les plus naturels. Certains instruments de cuivre ne disposent pas en réalité d'autres sons, comme par exemple les trompes primitives sans clefs. Les mélodies jouées sur ces instruments sont très-restreintes et monotones. Aussi la

musique pratique a-t-elle dû aller plus avant et chercher des rapports, plus compliqués sans doute que les premiers, mais cependant encore assez simples pour être acceptés. Or, il est naturel et il résulte du principe établi au commencement de ce chapitre que, plus les rapports se compliquent, moins les accords restent parfaits. L'introduction d'accords de plus en plus compliqués s'est donc faite lentement et successivement dans la musique. Nous devons considérer cela comme un progrès, en ce sens que les ressources musicales se sont accrues ; mais c'est un progrès fait aux dépens de la pureté primitive.

Nous allons donc partir de ce principe de la simplicité des rapports, pour voir comment il a été appliqué jusqu'ici et jusqu'où il peut raisonnablement aller. Mais ce que j'ai dit suffit pour justifier cette thèse que la musique n'est point le produit de principes esthétiques absolus, mais bien qu'elle est la conséquence d'une éducation musicale successive, éducation dont l'impulsion première dépend évidemment des aspirations esthétiques de chaque peuple et de l'état de sa civilisation. En effet l'histoire nous enseigne que toutes les innovations musicales un peu hardies ont eu à vaincre de très-vives oppositions. Il est plus commode que conforme à la vérité, d'expliquer de telles résistances uniquement par des rancunes et des haines personnelles. La vraie raison, c'est qu'il n'existe pas une expression mathématique pour définir, par un critérium sûr, quand un rapport est ou cesse d'être simple ; il est également difficile d'établir quand un son cesse d'être agréable. Il n'y a que plus ou moins de simplicité, de complication, de charme, et c'est de l'habitude de l'oreille que dépend la limite jusqu'à laquelle elle consent à suivre le hardi novateur. En réalité, certains accords, qui aujourd'hui nous paraissent parfaitement admissibles, n'étaient pas considérés comme tels dans les siècles passés, et surtout aux débuts de la musique.

9. Le saut du son fondamental 1 à son octave 2 est très-grand et doit nous induire à examiner si dans cet intervalle on peut intercaler d'autres sons. L'étude de la série harmonique nous offre ici un bon précédent. En effet, nous avons vu que les rapports 1 à 2, 1 à 3, 1 à 4, etc., sont consonnants. On peut donc se demander si les rapports qui en résultent quand nous prenons pour point de départ un autre son de la série harmonique, — soit 2 à 3, 2 à 4, 3 à 4 — ne sont pas consonnants aussi ; ou en d'autres termes, si les sons de la série harmonique sont consonnants non seulement avec le son fondamental, mais aussi entre eux.

Nous pouvons poser aussi cette question d'une autre manière. Étant donné que l'intervalle entre 1 et 2 puisse ou doive se combler avec d'autres sons, on se demande quels sont les sons qui présentent les rapports les plus simples possibles. Il est évident que des sons de ce genre devront s'exprimer par les chiffres

1 1/2, 1 1/3, 1 2/3, 1 1/4, 1 3/4, etc.;

ou par les rapports

$$\frac{3}{2}, \frac{4}{3}, \frac{5}{3}, \frac{5}{4}, \frac{7}{4}, \text{ etc.}$$

Le son le plus simple est ici $\frac{3}{2}$ qui correspond au rapport 2 à 3. Il signifie que le nouveau son fait trois vibrations pendant que le son fondamental en fait deux, et représente l'accord du second harmonique avec le troisième.

Ce rapport a été reconnu comme consonnant par les anciens Grecs, lesquels en firent, par une exagération scientifique, le point de départ de leur musique et de la formation de la gamme.

Il s'appelle accord de *quinte*. Prenons l'accord 2 à 3 ; le

son résultant est 1, c'est-à-dire, l'octave grave du son fondamental, qui est ici représenté par 2. Ce son résultant contribue notablement à améliorer l'accord de la quinte.

Un autre rapport simple est celui de $\frac{4}{3}$, qui peut s'écrire aussi 3 : 4. Ce rapport aussi était connu et accepté par les anciens Grecs. Il est, dans une certaine mesure, la conséquence de la quinte et peut en dériver. En effet, supposons que le son fondamental soit 1, sa quinte basse est 2/3, et l'octave de celle-ci s'obtient en doublant le nombre trouvé ; on a donc $\frac{4}{3}$. Ce rapport s'appelle en musique la *quarte*, d'où il suit que la quarte est l'octave de la quinte basse du son fondamental. Dans la série harmonique il représente l'accord du troisième et du quatrième harmonique. En écrivant le rapport 3 : 4, on voit que le son résultant est 1, qui ne correspond à aucune octave grave du son fondamental, mais qui est la seconde octave grave du son 4, c'est-à-dire de la quinte même.

L'accord du son fondamental avec la quarte présente donc ce caractère, un peu étrange, que le son résultant renforce, non le son fondamental, mais la quarte, et donne à cette dernière une importance supérieure dans une certaine mesure à celle du son fondamental.

Un autre rapport assez simple est exprimé par $\frac{3}{5}$. Il correspond en musique à la sixte majeure. Ce rapport était connu des Grecs. Il est plus compliqué que les précédents et a exigé beaucoup de temps pour être adopté. Il présente en effet pour la première fois ce caractère que le son résultant ne renforce ni l'un ni l'autre des sons composants, mais forme au contraire un son nouveau. En écrivant le rapport 3 : 5 on a pour son résultant 2, lequel est la quinte basse du son fondamental 3.

Un autre rapport important est fourni par le qua-

trième et le cinquième harmonique ; il s'exprime par $\frac{5}{4}$ ou 4 : 5 ; c'est la *tierce majeure*. Écrit de la seconde manière, il donne le son résultant 1, c'est-à-dire la seconde octave grave du son fondamental 4. C'est un rapport très-important, inconnu des anciens Grecs, et introduit dans la musique moderne du XVe au XVIe siècle. Les Grecs avaient à sa place l'accord peu différent, mais tout à fait dissonnant, $\frac{81}{64}$, formé avec le son fondamental 1 par quatre quintes successives :

$$1 \left| \frac{3}{2} \right| \frac{3}{2} \times \frac{3}{2} = \frac{9}{4} \left| \frac{3}{2} \times \frac{3}{2} \times \frac{3}{2} = \frac{27}{8} \right| \frac{3}{2} \times \frac{3}{2} \times \frac{3}{2} \times \frac{3}{2} = \frac{81}{16}.$$

Ce son, abaissé de deux octaves pour le rapprocher du son 1 et le maintenir dans la même octave, devient $\frac{81}{64}$ qui est précisément la tierce grecque, appelée aussi *pythagoricienne* du nom de son inventeur.

On peut dire sans exagération que la substitution, à cette tierce, de la tierce consonnante et harmonique $\frac{5}{4}$ constitue le progrès le plus notable et le plus décisif de notre gamme par rapport à celle des Grecs. La tierce $\frac{5}{4}$ rentre aussi dans la catégorie des consonnances par la considération que, le son résultant étant la seconde octave grave, renforce le son fondamental.

Un autre accord introduit dans la musique est celui de la *tierce mineure*. Il est exprimé par le rapport $\frac{6}{5}$ ou 5 : 6. Il ne fut adopté qu'au XVIIe siècle, avec beaucoup de réserves, en même temps que l'accord de sixte duquel il peut facilement être déduit. Ce n'est en effet que l'octave

de la sixte renversée. Encore, vers la moitié du siècle dernier et jusque dans les œuvres de Mozart, cet accord était-il considéré comme imparfait, et on l'évitait autant que possible comme accord terminal d'un morceau. Le son résultant est très-grave, et ne renforce aucun des deux sons composants. En écrivant le rapport 5 : 6, le son résultant est 1 ; c'est, par rapport au son 6 de l'accord, la seconde octave grave de sa quinte. Ce son est très-grave et ne détonne pas avec les sons 5 et 6. Mais, dans les combinaisons ultérieures où l'accord de tierce mineure est apte à entrer, le son résultant, comme nous le verrons dans la suite, devient tout à fait dissonnant.

Un dernier accord, que nous considérons aujourd'hui comme encore consonnant, quoique d'une manière imparfaite, c'est la *sixte mineure* $\frac{8}{5}$ ou 5 : 8. C'est, avec celui de la tierce mineure, le dernier adopté. Le son résultant est 3, c'est-à-dire la sixte majeure grave du son fondamental 5, son nouveau qui par lui-même ne détonne point, mais qui introduit une dissonnance dans les accords plus complets auxquels donne lieu la sixte mineure.

10. Avec cet accord de sixte mineure, il est évident que nous sommes déjà sur la limite des accords dissonnants. On peut, néanmoins, se demander s'il ne serait pas possible de faire encore quelques pas de plus, pour enrichir la musique d'autres accords assez consonnants. C'est là une question de haute esthétique musicale, qui a été agitée dans ces derniers temps et qui mériterait aussi de notre part une étude plus approfondie. Toutefois je ne peux me résoudre à aborder un sujet aussi délicat. Pour le traiter convenablement, je devrais entrer dans une série de détails très-minutieux, et considérer aussi les accords dans leurs rapports avec trois ou quatre sons divers. Une étude de ce genre nous entraînerait au-delà des limites dans lesquelles je dois me renfermer. Je ferai seulement remarquer

que, pour élargir le champ musical dans ce sens, il conviendrait de recourir au septième harmonique, et de considérer les rapports $\frac{7}{4}, \frac{7}{5}, \frac{7}{6}, \frac{8}{7}$ etc., dans lesquels le septième harmonique a une importance décisive. Quelques-uns de ces rapports, comme $\frac{7}{4}, \frac{7}{6}, \frac{8}{7}$ sont pour nous franchement dissonnants. Leurs sons résultants sont dissonnants, ou très-distants et par suite insignifiants; je ne crois pas que les générations futures veuillent s'habituer à en juger autrement. On ne peut dire *à priori* la même chose de l'accord $\frac{7}{5}$; mais c'est un phénomène assez étrange de voir que le septième harmonique soit aussi entièrement banni de la musique comme dissonnant, bien qu'elle emploie des rapports beaucoup plus compliqués et par suite beaucoup plus dissonnants, par exemple, $\frac{9}{8}, \frac{10}{9}$, etc., dont j'aurai à parler dans la suite. Pour l'oreille habituée à notre musique telle qu'elle est, le septième harmonique peut sembler désagréable; mais suivant le sentiment de certaines personnes auxquelles je m'associe pleinement, un examen plus approfondi démontre qu'il est plutôt étrange que désagréable; dans certains cas spéciaux, il peut fournir des accords dissonnants et des accords de passage très-bons, et son étrangeté même vient plutôt de notre défaut d'habitude que de sa nature propre.

Néanmoins nous ne devons pas être surpris de voir ce son mis au ban de la musique pratique. La cause en est, au point de vue scientifique, dans le nombre 7 qui a le double tort d'être trop grand pour un accord consonnant et de former un nombre premier. Comme dans les accords dissonnants il importe beaucoup de ne pas dépasser un certain chiffre, les nombres plus grands que 7, mais divisibles par 2, par 3, par 4 ou par 5, présentent sur lui un grand

avantage [1]. Telle est la véritable et décisive raison qui empêche de l'employer dans la musique.

Je ne voudrais certainement pas trop m'avancer et prophétiser ce que l'avenir nous réserve. Je remarquerai seulement que l'introduction systématique du septième harmonique dans la musique y produirait une révolution très-profonde et presque incalculable; une telle révolution ne me semblerait pas justifiée, parce qu'à notre grandiose système musical on en substituerait un autre, peut-être aussi grandiose, mais qui ne serait certainement pas meilleur; il serait même probablement pire, et, en tout cas, plus artificiel. Cependant cela n'empêchera peut-être pas le septième harmonique de se créer un rôle secondaire dans le système musical. Pour certains accords, par exemple de septième diminuée, accords dissonnants, il se prête très-bien à être utilisé et pourrait même parfois se substituer avec avantage à ceux qu'on emploie jusqu'ici.

Quoi qu'il en soit, il est certain que, pour nous, le septième harmonique représente la grande ligne de séparation entre les accords consonnants et dissonnants. Au-dessous de lui est la consonnance, au-dessus la dissonnance, séparées l'une de l'autre par une très-grande lacune. Nous avons ainsi les accords suivants dans l'intervalle d'une octave :

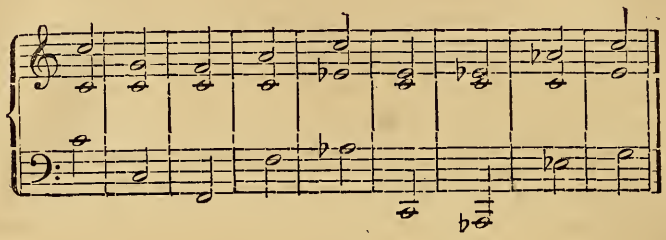
Parfaitement consonnants	$\frac{3}{2}$, $\frac{4}{3}$
Consonnants	$\frac{5}{3}$, $\frac{5}{4}$
Imparfaitement consonnants	$\frac{6}{5}$, $\frac{8}{5}$
Lacune formée par le septième harmonique	
Dissonnants	$\frac{9}{8}$, $\frac{10}{9}$ etc.

Je termine ce raisonnement en représentant sur la portée les accords examinés ci-dessus avec leurs sons résultants du premier ordre.

1. Déjà Euler avait remarqué l'importance des nombres 2, 3 et 5 et avait fondé sur eux une règle pour le développement de notre système musical.

Les accords sont sur la clef de sol et les sons résultants sur la clef de fa.

Ce mode de représentation donnera plus de clarté à notre exposition.



CHAPITRE VI

SIRÈNE D'HELMHOLTZ. — ACCORDS PARFAITS.

1. Sirène double de Helmholtz. — 2. Loi des rapports simples appliquée à trois sons et plus. — 3. Accords parfaits majeur et mineur, leurs caractères. — 4. Renversement des accords.

1. Les lois exposées dans le précédent chapitre peuvent se démontrer au moyen d'une sirène construite par Helmholtz, qui porte le nom de *sirène double* (fig. 25). Elle se compose de deux sirènes complètes a_0 et a_1 placées l'une au-dessus de l'autre, de façon que les disques tournants de l'une et de l'autre soient en face l'un de l'autre. Ils sont fixés au même arbre k, et tournent par conséquent ensemble avec la même vitesse. Entre eux se trouve, en k, le compteur habituel (non représenté dans la figure) destiné à mesurer le nombre des tours quand il s'agit de faire des déterminations absolues. Chaque disque porte quatre cercles concentriques de trous, suivant une idée déjà appliquée par Dove ; au moyen de quatre boutons on peut mettre en action l'un ou l'autre de ces cercles, ou même tous les cercles ensemble. On a ainsi huit sons disponibles qu'on peut produire à volonté. Un fort courant d'air, qu'on peut faire entrer dans l'une et dans l'autre sirène en g_0 et g_1 provoque, comme dans la sirène simple, la rotation des disques et la formation des sons.

Dans le disque supérieur, les cercles portent respectivement 7, 12, 15, 16 trous; dans le disque inférieur, 8, 17, 12, 18 trous. On a ainsi beaucoup de combinaisons possibles de sons, dont les vibrations sont en rapports simples.

Les disques tournants sont recouverts d'enveloppes cylindriques h_0 h_0 et h_1 h_1 qui servent à renforcer et à rendre plus nets les sons produits. Pour étudier les battements, on peut altérer légèrement ces rapports. A cet effet, la caisse de la sirène supérieure peut être mise en mouvement, indépendamment du mouvement rotatoire des disques. Ce résultat s'obtient au moyen d'une manivelle *d*, laquelle fait tourner la roue dentée *e;* celle-ci engrène dans celle de la sirène supérieure, et elle est réglée de manière qu'en trois tours, elle fasse faire un tour entier à la sirène elle-même. Sous la manivelle se trouve un cercle divisé en seize parties; d'où il suit que chaque division correspond à $\frac{1}{48}$ de tour complet de la sirène. Or, quand on fait tourner la sirène, elle suit les trous du disque tournant ou exécute un mouvement contraire, suivant le sens de la rotation.

L'effet, dans le premier cas, est d'abaisser un peu le son, dans le second de l'élever. La raison en est que le son dépend du nombre des bouffées d'air, qui se produisent chaque fois que les trous du disque tournant se superposent aux trous de la sirène; ces bouffées seront donc en nombre plus ou moins grand, suivant que la sirène exécutera un mouvement favorable ou défavorable. Au moyen de cette sirène double on peut faire des expériences extrêmement variées. J'indiquerai ici les plus importantes, celles qui nous intéressent le plus. Je mets en action les douze trous de la sirène supérieure et de la sirène inférieure. J'obtiens ainsi des sons identiques. Ils s'ajoutent dans leurs effets et me donnent, par suite, un son renforcé, quand les deux sirènes sont placées de façon

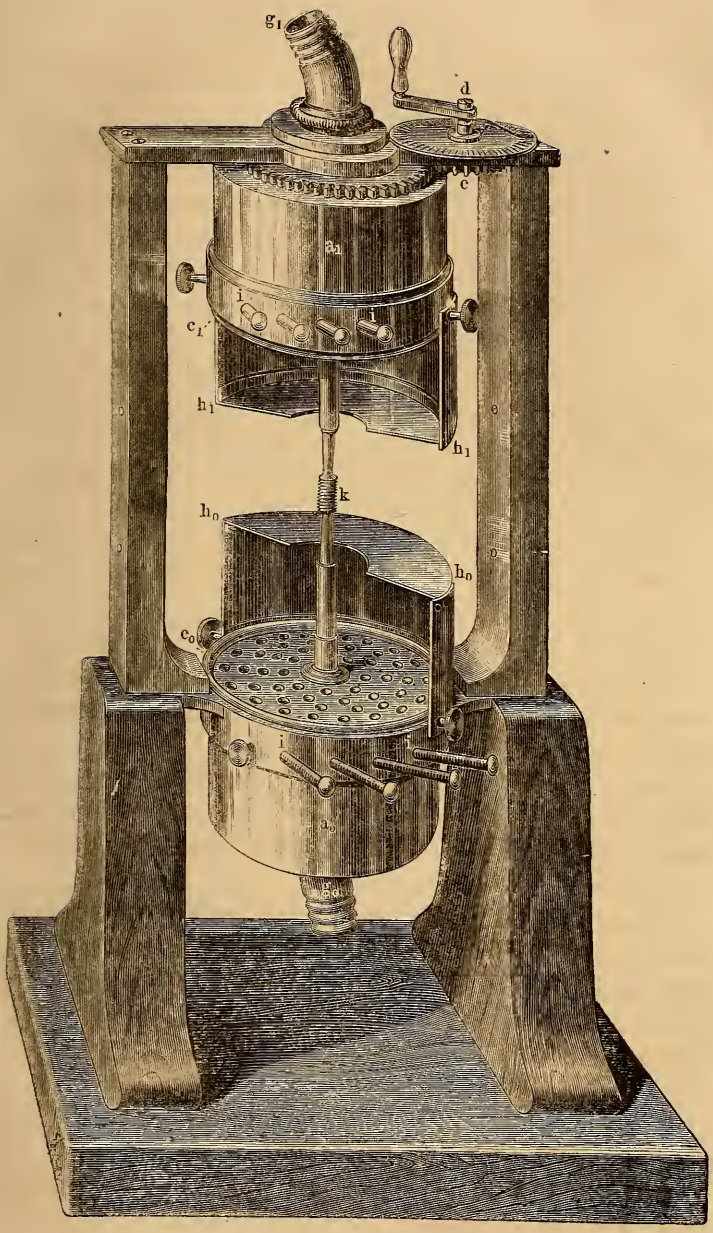


Fig. 25.

que les mouvements de l'air, dans l'une et dans l'autre, soient identiques.

Au contraire, ils s'affaiblissent mutuellement, quand les deux sirènes sont placées de façon que leurs bouffées d'air respectives sortent à contre-temps. Si je tourne lentement et régulièrement la manivelle *d*, les sons tantôt se renforcent, tantôt s'affaiblissent; j'obtiens ainsi des battements dont le nombre correspond à la différence des nombres fournis par les deux sirènes.

Je maintiens en action les douze trous de l'un et de l'autre disque. Je charge davantage la soufflerie, la sirène tourne plus vite; les deux sons montent, mais restent toujours à l'unisson, ce qui prouve que l'unisson est indépendant du nombre absolu des vibrations.

Je mets maintenant en action les disques à 8 et 16 trous: j'obtiens un son et son octave, vu que les vibrations sont comme 1 est à 2. On entend que l'octave est parfaite et qu'elle reste telle, même quand on charge la soufflerie et que l'on augmente à volonté la vitesse de rotation des disques. Les deux sons changent, mais leur rapport reste le même. Quel que soit le son fondamental l'octave fera donc toujours un nombre double de vibrations. Si l'on veut obtenir des battements, il n'y a qu'à faire tourner la sirène supérieure. Le phénomène qui se produit est facile à prévoir et à expliquer.

Le rapport de quinte peut se produire de diverses manières, en combinant les nombres 8 et 12, 10 et 15 ou enfin 12 et 18; dans ces trois cas, le rapport est de 2 : 3. Le rapport de quarte s'obtient avec les trous 9 et 12, 12 et 16. Celui de tierce majeure avec 8 et 10, 12 et 15, parce que c'est toujours le rapport de 4 : 5.

On a la sixte majeure et la sixte mineure avec les combinaisons 9 et 15, 10 et 16.

Enfin le rapport de la tierce mineure s'obtient avec les trous 10 et 12, 15 et 18.

Il y a encore beaucoup d'autres combinaisons possibles, mais je crois que ces exemples suffisent à démontrer ce que je voulais. Les accords que l'on obtient de cette manière sont mathématiquement exacts, et doivent par suite être préférés à ceux obtenus avec les autres instruments. On voit clairement que le nombre absolu des vibrations n'a point d'influence sur les accords, pourvu que les rapports restent toujours les mêmes ; c'est ce qui arrive précisément dans cet instrument où les rapports sont fixés par le nombre des trous, et où le nombre absolu des vibrations dépend en outre de la rapidité, variable à volonté, des disques tournants. Le son fondamental peut donc être un son quelconque. Mais une fois qu'il est choisi, le nombre des vibrations de tous les autres sons est déterminé par les rapports indiqués ci-dessus.

On peut aussi étudier sur cet instrument les sons résultants. On arrive ainsi aux lois que j'ai eu l'occasion d'exposer dans le chapitre précédent, et d'après lesquelles le son résultant doit être défini : un véritable son de différence.

2. J'arrive maintenant à traiter une question qui est intimement liée à celle que nous venons d'étudier. Nous avons jusqu'à présent associé deux sons, et nous avons cherché dans quelles conditions ils nous donnaient un accord consonnant. Mais la question peut être généralisée. On peut se demander si 3, 4 sons, ou plus, peuvent se combiner de façon à produire un accord consonnant. La règle dans ce cas n'est autre chose que la généralisation de celle développée et expliquée dans le chapitre précédent : *Pour qu'un accord, formé de trois sons ou plus, soit consonnant, il faut que les différents sons qui le composent soient, en ce qui concerne leurs nombres de vibrations, dans un rapport simple, non-seulement avec le son fondamental, mais aussi entre eux.*

Cette règle démontre que, pour produire un accord consonnant, il ne suffit pas de prendre les rapports les plus

simples d'octave, de quinte, de quarte, etc., mais qu'il faut en outre s'attacher à ce que les différents sons qui le composent soient entre eux dans des rapports simples. Ainsi, par exemple, un accord formé du son fondamental, de la quarte, de la quinte et de l'octave est franchement dissonnant, quoique ces sons soient représentés par les rapports les plus simples qui existent :

$$1, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, 2.$$

La raison en est que le rapport entre la quinte et la quarte est trop compliqué, et, par suite, dissonnant. En effet, ce rapport est exprimé par $\frac{9}{8}$, rapport qui n'est plus compris dans ceux des consonnances.

3. On obtient un bien meilleur accord en substituant à la quarte la tierce majeure, bien que celle-ci soit moins simple que celle-là. On a ainsi les sons

$$1, \frac{5}{4}, \frac{3}{2}, 2,$$

dont les rapports sont $\frac{5}{4}, \frac{6}{5}, \frac{4}{3},$

rapports qui sont tous consonnants. L'accord ci-dessus est le plus consonnant qui existe dans la musique ; aussi le nomme-t-on *accord parfait ;* on ajoute encore l'épithète *majeur* parce qu'il renferme la tierce majeure, et aussi pour le distinguer de l'*accord parfait mineur*, lequel diffère seulement du premier en ce qu'au lieu de la tierce majeure on y met la tierce mineure.

L'accord parfait majeur, comme le dit déjà son nom, est l'accord le plus consonnant que nous puissions imaginer. Dans sa forme la plus simple il est composé du son fondamental, de la tierce majeure et de la quinte ; généralement

on y ajoute l'octave. Les rapports des sons entre eux sont d'une tierce majeure, d'une tierce mineure et d'une quarte. Les sons résultants qui s'y forment peuvent se déterminer facilement. En effet, écrivons l'accord ainsi :

$$1, \frac{5}{4}, \frac{3}{2}, 2.$$

On voit que les sons résultants, en combinant chaque son avec tous les autres, sont :

$$\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, 1.$$

Le premier représente la seconde octave grave du son fondamental; le second, l'octave grave du même son ; le troisième, l'octave grave de la quinte, le dernier enfin, le son fondamental lui-même. Donc les sons résultants renforcent les sons déjà existants et, de préférence, le son fondamental, ce qui contribue puissamment à donner à l'accord un caractère ferme, franc et reposé.

L'accord parfait mineur est sous ce rapport inférieur au premier, quoique la structure en soit peu différente. En effet, si nous l'écrivons ainsi :

$$1, \frac{6}{5}, \frac{3}{2}, 2,$$

nous voyons que les rapports entre les sons successifs sont

$$\frac{6}{5}, \frac{5}{4}, \frac{4}{3},$$

lesquels ne diffèrent de ceux de l'accord majeur que par l'ordre dans lequel ils se succèdent. L'accord parfait majeur se compose des intervalles de tierce majeure, de tierce mineure et de quarte; tandis que l'accord parfait mineur se compose des intervalles de tierce mineure, de tierce majeure et de quarte. Cette seule différence serait évidemment très-petite, et ne suffirait pas pour expliquer la

grande et fondamentale différence qui existe entre ces deux accords. Mais on trouve dans les sons résultants une explication bien plus concluante. Pour l'accord mineur, les sons résultants sont :

$$\frac{1}{5}, \frac{3}{10}, \frac{1}{2}, \frac{4}{5}, 1.$$

Le premier représente la tierce majeure grave de la seconde octave du son fondamental ; c'est, pour l'accord, un son nouveau qui détonne avec la quinte ; le second est la seconde octave grave de la tierce mineure ; le troisième est l'octave grave du son fondamental ; le quatrième est la tierce majeure grave du son fondamental, c'est-à-dire la seconde octave haute du premier son résultant, laquelle vient ainsi renforcer la dissonnance existant dans l'accord ; le dernier enfin renforce le son fondamental. Donc, tandis que, dans l'accord parfait majeur, tous les sons résultants renforcent l'harmonie existante, dans l'accord mineur quelques-uns la troublent. S'ils étaient forts, ils suffiraient pour rendre l'accord dissonnant. Tels qu'ils sont, ils lui impriment un caractère inquiet et indécis.

Ces deux accords parfaits, majeur et mineur, forment la clef de voûte de notre système musical. Ils se rencontrent souvent, et tout morceau de musique doit se terminer par l'un ou par l'autre.

Ce sont vraiment les accords fondamentaux, et ils impriment à toute composition leur caractère propre.

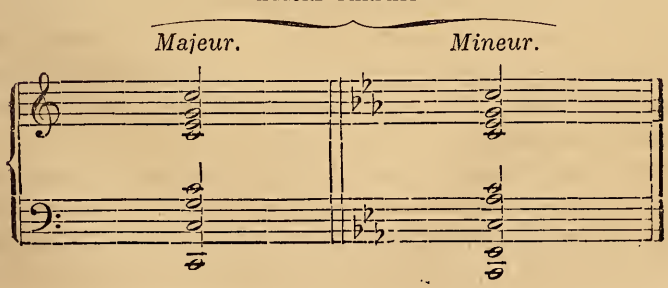
Les morceaux construits sur l'accord parfait majeur ont un caractère gai, brillant, franc, ouvert, et s'adaptent bien aux dispositions analogues de l'esprit. Ceux au contraire qui ont pour base l'accord parfait mineur, sont tristes et mélancoliques, ou pour s'exprimer plus exactement, inquiets, indécis et s'adaptent par suite aux dispositions de l'esprit où l'inquiétude et l'indécision jouent le principal rôle. Comme on le voit, la théorie et la pratique sont parfaitement d'ac-

cord pour définir ces deux combinaisons fondamentales. Ajoutons que l'histoire de la musique se rencontre aussi avec elles sur ce point. Tandis que l'accord parfait majeur a été accepté depuis les commencements de la musique harmonique proprement dite, l'accord parfait mineur a été considéré, pendant très-longtemps, comme un accord légèrement dissonnant et de passage, plutôt que comme accord fondamental. Jusqu'au temps de Sébastien Bach, c'est-à-dire jusqu'au milieu du siècle dernier, on hésitait à terminer un morceau avec l'accord mineur, même quand le caractère du morceau le réclamait. Jusqu'au temps de Mozart on l'emploie sous cette forme mais très-rarement, et on supprime volontiers la tierce mineure, qui ne paraît pas sonner assez bien. On dirait que les natures musicales les plus finement douées ont presque deviné ce que la théorie devait plus tard expliquer d'une façon simple et concluante.

Pour rendre plus clair ce que j'ai dit, relativement aux sons résultants des deux accords parfaits, je montre ci-dessous ces sons écrits sur la portée. Sur la clef de sol, se trouvent les deux accords, sur la clef de fa, les sons résultants de premier ordre auxquels ils donnent naissance.

Je me borne à ces derniers parce que ceux d'ordre supérieur s'entendent seulement dans des cas exceptionnels, et n'ont pas une grande importance au point de vue pratique.

ACCORD PARFAIT.

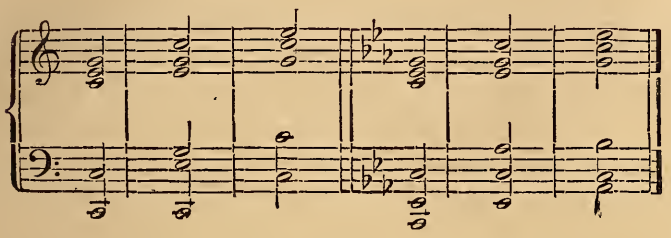


4. L'accord parfait peut s'employer aussi de différentes manières. Renverser un accord, c'est transporter un ou plusieurs de ses sons à l'octave haute ou à l'octave grave. L'accord acquiert alors un caractère un peu différent, et les sons résultants surtout, se modifient d'une façon notable. Ceci est un sujet que je ne peux qu'indiquer ici, car une étude plus approfondie m'entraînerait beaucoup au-delà des limites que je me suis tracées. Néanmoins je veux rappeler que la musique est sous ce rapport extrêmement riche ; les accords renversés ont constitué la ressource principale de Palestrina et celle des compositeurs de son école et de son temps. Des accords qui, dans une position donnée, ont des sons résultants consonnants, peuvent se transformer, par le renversement, en d'autres sons résultants plus ou moins dissonnants. Cela arrive d'une façon spéciale pour l'accord parfait mineur, où la dissonnance peu appréciable peut se renforcer notablement par le renversement, et se transformer en dissonnance plus marquée. Palestrina, qui était une des natures musicales les plus finement douées, fait un très-grand usage de ce procédé musical, et il est admirable de voir comment, sans être guidé par la théorie, mais conduit seulement par la perfection de son oreille, il a pu sentir et apprécier des différences aussi légères. Dans sa musique il se sert très-peu des vraies dissonnances, mais il fait grand usage, au contraire, de ces dissonnances secondaires qui se produisent dans les sons résultants par le renversement des accords. Cela justifie le mot d'un grand penseur allemand, qui appelle la musique de Palestrina « musique des anges, prenant leur part des douleurs terrestres, sans se laisser troubler dans leur céleste sérénité. »

Comme exemple, je donnerai quelques accords renversés avec leurs sons résultants, pour le cas le plus simple, de trois sons. Les autres cas sont trop compliqués pour trouver place ici. Outre les accords parfaits, majeur et mi-

neur, il y a encore d'autres accords simples. Je citerai entre autres l'accord formé par le son fondamental, la quarte, la

Accord majeur. *Accord mineur.*



sixte et l'octave, et celui du son fondamental avec la tierce, la sixte et l'octave, qui ont des caractères un peu différents, surtout quand on les compare avec l'accord parfait majeur ou mineur. Ces accords peuvent être étudiés de la même manière que les accords parfaits. On arrive facilement à cette conclusion qu'ils ne sont autre chose que les premiers accords renversés d'une manière convenable, comme on le voit aussi par l'exemple musical de la page précédente.

CHAPITRE VII

HISTOIRE DES GAMMES.

1. Accords dissonnants. — 2 et 3. Caractère de la musique et des gammes musicales. — 4. Musique antique. — 5. Gammes grecques. — 6. Gamme pythagoricienne. — 7. Sa décadence. — 8. Chant ambroisien et grégorien. — 9. Musique polyphonique, harmonie ; la réforme protestante ; Palestrina. — 10. Transformation des gammes musicales, la tonique et l'accord fondamental. — 11. Gamme majeure ; intervalles musicaux. — 12. Gamme mineure. — 13. Tonalité et passages. — 14 et 15. Dièses et bémols. — 16. Gamme tempérée, ses inexactitudes. — 17. Utilité de l'abandonner.

1. Nous avons jusqu'ici étudié seulement le cas des accords consonnants. Mais la musique serait très-pauvre, si elle voulait se contenter de ces accords et du petit nombre de sons qui les composent. On peut dire plus. Une musique formée des accords consonnants seuls serait extrêmement monotone et sans aucune énergie. Ce serait une espèce de vagissement destiné à endormir doucement toutes les préoccupations de l'âme, sans rien exprimer.

Pour accroître ses ressources, et pour acquérir plus de force et d'énergie dans l'expression de ses pensées, la musique a dû recourir aux sons et aux accords dissonnants.

Esthétiquement parlant, on éprouve une satisfaction beaucoup plus grande lorsque, d'un accord dissonnant, on passe à un accord consonnant, que si l'on était toujours resté dans les accords consonnants. C'est la force des contrastes qui produit en nous cette sensation, de même qu'après l'orage, nous apprécions doublement le calme.

C'est ce concept qui a inconsciemment guidé la musique jusqu'à nos jours. Sa force est dans les dissonnances, pourvu que celles-ci ne durent pas trop, et finissent par se résoudre en accords consonnants.

L'accord parfait étant le plus consonnant de tous devra terminer nécessairement le morceau de musique. En admettant les dissonnances, et en en déterminant les limites extrêmes que l'on puisse atteindre, il est impossible de fixer rien d'absolu. Tout dépend du degré de culture musicale et de l'habitude. Des dissonnances, aujourd'hui parfaitement licites, auraient paru une monstruosité du temps de Palestrina. Réciproquement, certains sons, comme par exemple des quarts de ton, employés par les Grecs, dans une époque de décadence, sont définitivement repoussés par nous. C'est donc une erreur que commettent beaucoup de gens, de croire que la musique, et spécialement la musique moderne, a un caractère et une valeur absolus, et de rejeter tout système musical non conforme au nôtre. Il n'y a d'absolu que les lois des sons et de leurs combinaisons. Mais l'application de ces lois contient toujours beaucoup de choses vagues, et il y reste un champ très-étendu et indéterminé qui a été et sera toujours parcouru d'une manière bien différente par les différents peuples, aux diverses époques historiques.

2. Si nous examinons avec attention l'histoire de la musique, si nous recueillons toutes les notions possibles, même sur la musique des peuples barbares, nous trouvons ce phénomène constant, que la musique procède par sons nettement séparés les uns des autres. Dans l'immense quantité des sons musicalement admissibles, il n'y en a qu'un petit nombre qui constituent les différents systèmes musicaux. Une musique, où l'on voudrait passer d'un son à un autre à travers tous les sons intermédiaires, deviendrait bientôt intolérable. Il est vrai que nos chanteurs et les violonistes ou violoncellistes le font, et avec succès. Mais

passer ainsi d'un son à un autre n'est admis que quand on en use avec modération, et il reste toujours douteux s'il ne vaudrait pas mieux s'en abstenir.

La musique procède donc par *intervalles* musicaux, précisément comme l'homme chemine à pas détachés, fermes et décidés. Il semble que dans le double mouvement par intervalles et par subdivisions rhythmiques, comme aussi dans les nuances nombreuses du *piano* et du *forte*, du *crescendo* et du *decrescendo*, de l'*accelerando* et du *rallentando*, du *lié* et du *détaché*, nuances qui constituent l'*accent musical*, réside le secret de la grande impression que la musique éveille dans le cœur de l'homme. Elle a ainsi des moyens extrêmement variés pour s'adapter complétement aux mouvements psychiques qui constituent une situation donnée de l'esprit. Car, notons-le bien, la musique n'exprime pas des sentiments déterminés; elle s'applique au contraire aux situations de l'esprit d'où peut naître un sentiment spécial. Il est facile de se convaincre qu'il en est ainsi dans la musique instrumentale; quant au sentiment déterminé, c'est nous qui le faisons connaître au moyen de la parole unie au chant. Mais ôtez les paroles, ou modifiez-en le sens, et vous verrez que la même mélodie, la même musique peuvent s'adapter à des sentiments très-divers.

De tous les beaux-arts, la musique est certainement le moins matériel. Chez elle il ne s'agit point, comme dans la sculpture, de copier la nature en l'idéalisant; ni, comme dans la peinture, d'unir à l'étude de la nature le concept géométrique de la perspective, et le concept optique des couleurs et de leurs contrastes. L'architecture elle-même a, dans la nature, une base naturelle plus large. Les tiges des arbres et leurs branches, les grottes, les cavernes ont fourni à l'architecte les premiers concepts de son art, qui lui était inspiré par les besoins de l'homme, et les conditions de la résistance des matériaux. Mais, dans l'art musical, la nature ne nous offre presque rien. Il est vrai qu'elle

est fort riche en sons, mais le concept de l'intervalle musical existe peu dans le chant des oiseaux ; celui des rapports simples n'y existe presque pas ; sans ces deux concepts pourtant, pas de musique possible. L'homme a donc dû se créer lui-même son propre instrument, et c'est la raison pour laquelle la musique est arrivée bien longtemps après les autres arts à son complet développement. Plus que les autres, elle ressemble à l'architecture dans laquelle il existe des rapports numériques. En effet, la hauteur et la largeur d'un édifice ou d'une salle, la grosseur et la hauteur des colonnes, en un mot, toutes les dimensions sont liées par des rapports numériques. Mais ce sont là des rapports approximatifs qui supportent un certain degré de *tolérance ;* en musique, au contraire, les rapports doivent être exacts, et la nature se venge par des battements, chaque fois qu'on déroge, si peu que ce soit, à cette loi fondamentale.

3. Dans la musique de tous les peuples, nous trouvons toujours deux caractères : le mouvement rhythmique et la progression par intervalles déterminés. Le premier appartient aussi à la parole et aux autres actes de l'homme, comme la marche, la natation, la danse, etc. ; le second appartient exclusivement à la musique. Tous les peuples ont fait un choix de sons ; ils ont réuni ensemble ceux destinés à être réunis, et se sont ainsi créés une ou plusieurs *gammes musicales*. Nous entendons par gamme la réunion de tous les sons compris entre le son fondamental et l'octave, qui se succèdent et sont destinés à se succéder avec une certaine régularité préétablie. L'étude de la gamme nous donne en abrégé un des *criteriums* les plus importants pour juger de l'état musical d'un peuple. L'examen des gammes est donc d'un très-grand secours, et, à ce titre, je parlerai un peu des principaux systèmes musicaux que l'histoire a enregistrés jusqu'ici.

Il peut paraître étrange qu'un petit nombre de notes

réunies ensemble, dans une gamme, puissent acquérir une véritable importance pour l'étude de la musique. Sans doute, si cette association de sons avait été faite au hasard, la chose n'aurait aucun intérêt; mais la gamme est toujours le produit de l'activité musicale de plusieurs siècles. Elle ne s'établit pas avant la musique, mais elle se développe simultanément avec elle. Une musique très-perfectionnée doit avoir une gamme également très-perfectionnée; au contraire, une musique imparfaite et primitive aura une gamme de peu de valeur.

Même à ce point de vue, la comparaison avec l'architecture est frappante. Dans l'architecture grecque, les distances entre les colonnes, entre les murs, étaient petites; les toits étaient plans. Tout se réduisait donc à des lignes verticales et horizontales, et c'est cette grande simplicité qui constitue l'un des plus beaux caractères de cette architecture. Les anciens Étrusques imaginèrent l'arcade, qui permit des dimensions plus grandes sans compromettre la stabilité; de là on passa à la voûte, et, comme forme dérivée plus grandiose, à la coupole. L'architecture romaine est fondée sur cette nouvelle découverte. Mais, sur de grandes dimensions, l'arcade en plein cintre devient peu solide; on trouve que l'ogive répond, dans certains cas, beaucoup mieux au but poursuivi. Elle permet et réclame une plus grande hauteur des édifices; elle est accompagnée d'un développement admirable dans les détails, développement qui s'y adapte parfaitement bien; c'est ainsi que s'est développé le style gothique avec ses innombrables variétés. Comme vous voyez, une simple considération de stabilité et de résistance a fait trouver à différents peuples des solutions diverses, et de trois formes primitives simples, ont surgi trois styles grandioses d'architecture, qui diffèrent tellement entre eux qu'on serait tenté de croire qu'ils n'ont rien de commun.

La musique primitive est aussi vieille que l'histoire. Du

plateau asiatique où nous rencontrons des traces antiques de l'histoire, elle suit l'homme dans ses pérégrinations à travers la Chine, l'Inde, l'Egypte. Un des livres les plus anciens, la Bible, parle souvent de musique, et cela, dès les premières pages [1]. David et Salomon étaient de grands musiciens. Leurs psaumes sont d'une très-belle inspiration et évidemment destinés à être chantés. C'est à Salomon qu'on doit la grandiose organisation du chant dans le temple de Jérusalem. Il institua une école de chanteurs et un orchestre très-considérable, qui compta jusqu'à quatre mille exécutants; les instruments principaux étaient la harpe, le cistre, les trompettes et le tambour.

Pour la question qui nous intéresse ici, l'histoire du développement de la musique grecque est plus importante. Il est aujourd'hui incontestable que les Grecs n'eurent jamais, même à leur époque la plus florissante, un véritable principe d'harmonie. La seule chose qu'ils firent sous ce rapport, fut de s'accompagner à l'octave, quand les hommes et les jeunes garçons chantaient ensemble le même air.

Aussi leur instrumentation ne servait-elle qu'à renforcer le chant, soit en l'accompagnant à l'unisson ou à l'octave, soit en exécutant des variations plus ou moins compliquées entre un chant et l'autre, ou même entre les parties d'un même chant. Pour eux, la musique était un art auxiliaire, destiné à renforcer, en l'idéalisant, l'effet de la parole.

Le développement de leur musique doit être considéré seulement à ce point de vue, et il faut convenir qu'elle parvint à un degré de haute perfection, malgré la forme vraiment primitive sous laquelle elle nous apparaîtrait

1. Chap. IV, vers. 21, parlant de la génération de Caïn elle dit : « Et le nom de son frère fut Jubal. Il fut père de tous ceux qui jouèrent du cistre et de l'orgue. » Ces paroles ne prouvent pas du tout que l'orgue ait déjà existé à cette époque, mais elles sont certainement caractéristiques.

aujourd'hui. Elle a été une sorte de haute déclamation, avec des rhythmes plus variables, une modulation plus fréquente et plus prononcée que dans la déclamation ordinaire. Cette musique était très-goûtée des Grecs, et quand on considère que ce peuple a été le plus artiste de tous ceux qui ont existé, il faut chercher avec soin ce que leur musique pouvait contenir et ce qu'elle contient en réalité.

5. La gamme grecque s'est développée par quintes successives. Faire monter une note d'une quinte c'est, comme nous l'avons vu dans le Ve chapitre, multiplier le nombre de ses vibrations par $\frac{3}{2}$. Ce principe fut rigoureusement maintenu par les Grecs; je dis rigoureusement, parce que la quarte, dont ils ont fait usage depuis le commencement, peut facilement être considérée comme une quinte grave.

Pour rendre plus clair le développement des idées musicales, je vais avoir recours à notre nomenclature moderne, en supposant déjà connue notre gamme que nous étudierons plus tard avec détails. J'appellerai le son fondamental *ut* et les sons successifs de notre gamme, *ré*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si* avec la dénomination de dièses et de bémols pour les sons intermédiaires, comme on le fait dans la musique moderne. Dans cette gamme, le premier son, *ut*, représente le son fondamental; les autres sont successivement la seconde, la tierce, la quarte, la quinte, la sixte, la septième et l'octave, suivant la position qu'ils occupent dans la gamme.

Si nous prenons l'*ut* pour point de départ, sa quinte est *sol*, sa quinte basse est *fa*. Portons ce dernier à l'octave, pour le rapprocher des autres sons; ajoutons à ceux-ci l'octave de l'*ut* et nous avons les sons suivants

ut, *fa*, *sol*, *ut*,

dont les rapports musicaux sont :

$$1, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, 2.$$

Ces quatre sons, suivant une tradition antique, constituaient la fameuse lyre d'Orphée. Musicalement parlant, elle est très-pauvre, mais il est intéressant de constater qu'elle contient les intervalles les plus importants de la déclamation. En effet, quand on interroge, la voix monte d'une quarte. Pour accentuer un mot, on monte encore d'un ton et on arrive à la quinte. Quand on termine un récit, on descend d'une quinte, etc. On comprend donc que la lyre d'Orphée, malgré sa pauvreté, se soit prêtée à une sorte de déclamation musicale. La progression par quintes en haut et en bas peut encore se continuer; la quinte du *sol* est *ré*, et si nous l'abaissons d'une octave, son rapport musical sera $\frac{9}{8}$. La quinte basse du *fa* est *si♭*, dont le rapport musical élevé d'une octave est $\frac{16}{9}$. Nous avons ainsi la gamme suivante :

ut, ré, fa, sol, si♭, ut,

dont les intervalles sont :

$$1, \frac{9}{8}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, \frac{16}{9}, 2.$$

Cette gamme n'est autre qu'une succession de quintes, transportées ensuite dans la même octave, de la manière suivante :

si♭, fa, ut, sol, ré.

C'est l'ancienne gamme chinoise et écossaise, dans

laquelle existent un très-grand nombre d'airs populaires, surtout écossais et irlandais, d'un coloris tout spécial.

6. Mais la gamme peut encore se continuer par quintes successives. Supprimons, comme faisaient les Grecs, la quinte basse *si♭*, et ajoutons à la place trois quintes successives en haut, nous aurons comme quinte du *ré* le *la*, comme quinte du *la* le *mi*, comme quinte du *mi* le *si*.

Les rapports de ces sons supposés placés dans la même octave sont $\frac{27}{16}$, $\frac{81}{64}$, $\frac{243}{119}$, d'où la gamme suivante :

ut, ré, mi, fa, sol, la, si, ut,

avec les rapports :

$$1, \frac{8}{9}, \frac{81}{64}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, \frac{27}{16}, \frac{243}{128}, 2.$$

La première et la seconde de ces trois dernières quintes, c'est-à-dire le *la* et le *mi*, furent introduites par Terpandre ; la dernière, le *si*, par Pythagore, à laquelle la gamme grecque a emprunté le nom de gamme pythagoricienne qu'elle porte encore. Elle s'est formée, comme on l'a vu, par quintes successives, c'est-à-dire, en s'appuyant sur le concept fondamental des rapports simples.

Mais il faut bien convenir que la réalisation de ce concept n'a pas été heureuse. En effet la loi de formation est simple, mais les sons isolés ont parfois une parenté très-éloignée avec le son fondamental. Le mode de formation de la gamme était très-commode pour accorder les cordes de la lyre, et cela paraît avoir été une des principales raisons de cette formation ; mais, entre deux sons consécutifs, l'intervalle ne reste rien moins que simple. Nous voyons ainsi que quelques sons de la gamme sont, avec le son fondamental, dans un rapport extrêmement compliqué.

Ce sont surtout les trois derniers sons introduits dans la gamme, c'est-à-dire ceux qui correspondent à nos *la*, *mi*, *si*, qui n'ont plus des rapports simples, étant exprimés par les fractions $\frac{27}{16}$, $\frac{84}{64}$, $\frac{243}{128}$.

Pour ce dernier, cela aurait moins d'importance. Le *si* ne peut être considéré autrement que comme un son de passage, qui, par sa dissonnance bien caractérisée, conduit à un *ut* ou à un autre son consonnant; que le *si* soit donc plus ou moins dissonnant, cela ne nuit pas, et même, en certains cas, cela peut servir. Mais l'existence d'un rapport compliqué pour la tierce et la sixte est peut-être la raison principale pour laquelle l'harmonie ne s'est point développée dans la musique grecque. La tierce et la sixte pythagoricienne sont nettement distinctes, et avec la quinte et la quarte seule, il n'y a pas de développement harmonique possible, d'autant plus que l'intervalle entre la quarte et la quinte est très-petit, et, par suite, dissonnant.

7. La gamme pythagoricienne a régné presque exclusivement en Grèce. Ce n'est que dans les derniers siècles avant l'ère chrétienne, c'est-à-dire à l'époque de la décadence grecque, politique et artistique, que nous trouvons différentes tentatives pour la modifier. Ainsi, par exemple, on divisa en deux l'intervalle compris entre les sons correspondant à notre *ut* et à notre *ré*, et on intercala un son au milieu. On alla même jusqu'à partager de nouveau un de ces derniers intervalles, en introduisant aussi le *quart de ton* que nous considérons maintenant comme une monstruosité. D'autres introduisirent encore différents intervalles, en se fondant en général plutôt sur des spéculations théoriques, que sur le sentiment artistique.

Toutes ces tentatives n'ont pas laissé de traces et, par conséquent, n'ont pas d'importance. Mais la gamme pythagoricienne est passée de Grèce en Italie, où elle a régné souverainement jusqu'au seizième siècle, époque où se pro-

duisit sa transformation lente et successive en nos deux gammes musicales.

Déjà les Grecs, pour augmenter les ressources musicales de leur gamme, avaient formé avec elle plusieurs gammes qui ne s'en distinguaient que par la différence du point de départ.

La loi de formation était très-simple. En effet supposons la gamme écrite de la manière suivante :

ut, ré, mi, fa, sol, la, si, ut.

Nous pouvons prendre un son quelconque comme point de départ et écrire, par exemple,

mi, fa, sol, la, si, ut, ré, mi;

ou encore :

la, si, ut, ré, mi, fa, sol, la, etc...

Il est évident que nous pourrons former ainsi en tout sept gammes, qui ne furent pas toutes employées par les Grecs aux différentes époques, mais qui sont toutes possibles. Un morceau, qui se fonde sur l'une ou l'autre d'entre elles, doit avoir un caractère différent, et, c'est sous ce rapport, en fait de nuances et de couleurs, que la mélodie grecque doit être considérée comme beaucoup plus riche que la nôtre, et assujettie à des règles beaucoup plus rigides.

8. En Italie, les différentes gammes grecques subirent des crises graves. L'évêque Ambroise de Milan et, plus tard, le pape Grégoire-le-Grand, eurent le mérite de rétablir, le premier quatre gammes grecques, le second les trois autres. C'est ainsi que la musique d'église (le chant ambrosien et grégorien) acquit un caractère plus clair et plus élevé. C'était un récitatif à notes tantôt longues et soutenues, tantôt brèves, suivant les paroles qui l'accompa-

gnaient; c'était de la musique à une voix. Cette musique s'est encore en partie conservée, et elle ne peut être distinguée de la musique grecque, que par l'objet auquel elle s'applique.

9. Aux dixième et onzième siècles, commença, surtout en Flandre, une tentative de musique *polyphonique*, c'est-à-dire à plusieurs parties. Elle consistait à combiner deux airs différents, de manière que l'ensemble ne fût point faux. Ce genre de musique se propagea rapidement aussi en Italie. Au temps de Gui d'Arezzo, le célèbre inventeur de l'écriture musicale, on composait de ces morceaux dans lesquels la progression par quintes était très-fréquente, quoique très-désagréable à l'oreille; nous la considérons aujourd'hui comme une faute grave. Sous l'impulsion de Josquin et d'Orlando Lasso, le dernier et peut-être le plus important des compositeurs de cette école, la musique polyphonique se développa d'une façon surprenante. On associait ensemble trois, quatre airs différents et plus, d'une façon très-compliquée, où l'art de combiner avait une part beaucoup plus considérable que l'inspiration artistique. Vrais tours de force sans valeur musicale! Ce genre de musique était cultivé surtout par les chanteurs d'église, qui avaient ainsi l'occasion de montrer leur habileté. Les voix s'enchevêtraient de mille manières, et la seule condition imposée au compositeur était de ne point produire d'assonnance désagréable.

La grande réforme de Luther vint mettre fin à ce genre factice et artificiel de musique. Le protestantisme, à sa naissance, présenta comme une condition nécessaire que le chant dans les églises devait être exécuté par les fidèles et non par une caste de musiciens spéciaux. La musique dut se simplifier notablement pour se mettre à la portée de tous. Elle trouva sous ce rapport le terrain préparé. Les trouvères, les ménestrels, les *Minnesängers* avaient développé la mélodie primitive et simple, d'où sont nés le madrigal et la chanson populaire.

C'est ainsi qu'à la musique polyphonique jusqu'alors en vogue fut substituée une autre musique, où les diverses parties se soutenaient les unes les autres. De cette dernière naquit l'*harmonie* proprement dite, avec ses accords simples et soutenus, et les mouvements faciles des différentes parties.

Le contre-coup du mouvement allemand se fit sentir aussi en Italie, où la réforme musicale fut introduite par Palestrina avec l'autorité du génie, en partie pour exécuter les décisions prises par le concile de Trente. Palestrina abandonna la méthode artificielle usitée jusque-là, et prit son point d'appui sur la simplicité, sur l'inspiration profondément artistique. Ses compositions (*crux fidelis*, *improperia*, *Missa Papæ Marcelli*, etc.), sont et seront toujours un modèle du genre.

10. Mais une transformation aussi profonde ne pouvait être accomplie par un seul homme, ni en peu de temps. La gamme pythagoricienne, d'un usage général jusqu'alors, s'opposait au développement de l'harmonie, et cela d'autant plus que l'exécution était confiée à des voix humaines pour lesquels le moindre écart devient doublement sensible. La véritable harmonie ne put se développer qu'au moyen de la transformation successive de la gamme pythagoricienne en une gamme où les rapports mutuels des sons fussent aussi simples que possible. C'est ainsi que les différentes gammes grecques sont peu à peu devenues nos deux gammes modernes, la gamme majeure et la gamme mineure. La première était plus facile à trouver, mais la seconde, avec ses deux variantes, en montant et en descendant, nous ne la trouvons complétement développée qu'au dix-septième siècle, quand la musique avait déjà pris un admirable essor, et quand il existait dans les principales villes d'Italie de grandes écoles de musique et de chant.

Un autre concept caractérise encore notre musique moderne ; c'est le concept du son et de l'accord fondamental.

Cette notion n'existait pas dans la musique grecque, bien que certains passages d'Aristote fassent mention de quelque chose de semblable. Elle n'existe pas dans le chant ambrosien, mais elle commença à se développer avec la musique polyphonique. Le chant enchevêtré du moyen-âge exigeait, comme condition pratique, que les divers chanteurs revinssent souvent sur une note, comme sur une sorte de point d'appui, pour rester bien ensemble. Plus l'harmonie était compliquée, plus ce point d'appui devenait nécessaire. C'est ainsi que se développa la notion du *son fondamental* ou de la *tonique,* et plus tard la notion de l'*accord fondamental*, de la tonalité. Ce précepte est devenu toujours plus impérieux à mesure que la musique se compliquait davantage. Nous demandons aujourd'hui qu'un morceau de musique commence et finisse par l'accord fondamental, qui ne peut être que l'accord parfait majeur ou mineur ; nous voulons que, dans l'évolution de l'idée musicale, dans le développement des grandes masses chorales et de l'orchestre, le son fondamental revienne souvent comme un point d'appui nécessaire à notre compréhension.

Mais ce concept lui-même ne s'est développé que lentement. Dans la musique de Palestrina et de ses successeurs, il n'est pas encore parvenu à cette netteté que nous demandons aujourd'hui. Et c'est peut-être là la principale raison pour laquelle cette musique, malgré sa simplicité et sa grande beauté, nous paraît peu intelligible et plus étrange que belle.

11. Ces prémisses posées, nous allons examiner en détail la formation et les propriétés de nos gammes musicales, telles qu'elles se sont nécessairement développées sous l'influence des besoins de la polyphonie et de l'harmonie. Les gammes que nous employons aujourd'hui sont au nombre de deux : la *gamme majeure* et la *gamme mineure,* cette dernière présentant encore une modification

qui doit être considérée comme le point de passage de l'une à l'autre.

Je veux avant tout vous faire entendre notre gamme aussi exactement que possible. Je me sers pour cela d'un instrument (fig. 26) imaginé par Seebeck et perfectionné par Kœnig. Un fort mouvement d'horlogerie renfermé dans une

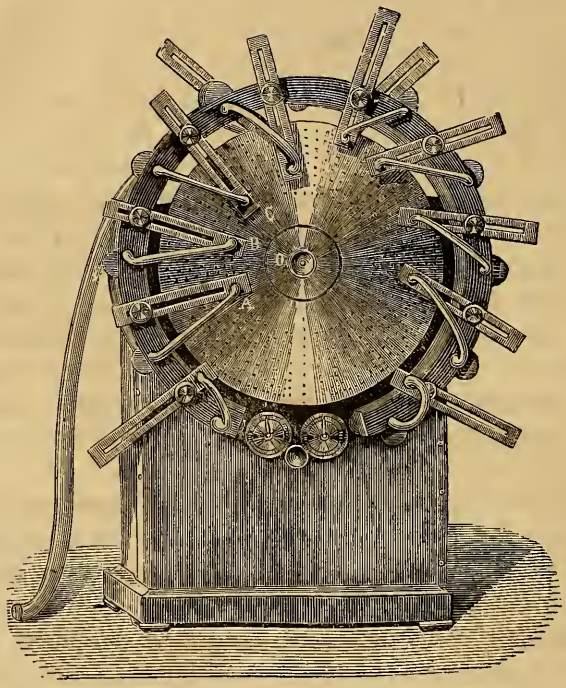


Fig. 26.

caisse P permet de donner à un disque métallique, fixé en O, un mouvement régulier de rotation. Le disque porte huit séries de trous concentriques situés sur les mêmes cercles, à égale distance les uns des autres. Des tubes de gomme élastique, A, B, C, sont disposés de façon qu'on puisse souffler à volonté contre l'un ou l'autre cercle de trous,

pour produire ainsi l'un ou l'autre son. C'est une sirène dont le mouvement de rotation se fait indépendamment du courant d'air qui souffle. Les huit cercles, en commençant par le cercle intérieur, ont les nombres suivants de trous :

24, 27, 30, 32, 36, 40, 45, 48.

Or, comme le nombre des vibrations des sons produits est proportionnel au nombre des chocs, c'est-à-dire au nombre des trous, il s'ensuit qu'à vitesse égale, les nombres ci-dessous expriment les valeurs relatives des vibrations. En les divisant par 24, on a :

$$1, \frac{9}{8}, \frac{5}{4}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, \frac{5}{3}, \frac{15}{8}, 2.$$

J'attends que le disque prenne une vitesse uniforme; puis je souffle successivement sur les divers cercles de trous et vous entendez qu'on obtient la gamme majeure. Je dois ajouter qu'elle est parfaite, parce qu'elle satisfait, même théoriquement, à la loi des rapports exacts.

La gamme majeure est donc constituée par les rapports suivants :

$$1, \frac{9}{8}, \frac{5}{4}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, \frac{5}{3}, \frac{15}{8}, 2,$$

que nous appelons :

ut, ré, mi, fa, sol, la, si, ut.

Comme on le voit, la tierce majeure $\frac{5}{4}$, la quarte $\frac{4}{3}$, la quinte $\frac{3}{2}$, la sixte $\frac{5}{3}$, sont des accords consonnants que nous avons trouvés également au moyen de la théorie. Ce sont les rapports les plus simples qu'on puisse imaginer. On voit

de plus que ces rapports remplacent avantageusement quelques-uns des plus compliqués de la gamme pythagoricienne, spécialement la tierce et la sixte qui étaient dissonnantes et qui deviennent au contraire consonnantes. La seconde, $\frac{9}{8}$, est la même, et la septième, $\frac{15}{8}$, est notablement simplifiée. On peut dire que cette gamme n'est autre chose qu'une modification de la gamme pythagoricienne, conservant à peu près les mêmes sons, et les changeant seulement de façon qu'ils satisfassent à la loi des rapports simples. Il est clair et évident que la gamme naturelle doit se prêter à l'harmonie, et la gamme pythagoricienne lui était décidément contraire.

Mais il ne suffit pas que les rapports avec le son fondamental soient simples; il faut aussi qu'ils soient simples entre eux. Je ne puis pas examiner ici la question dans tous ses détails; je veux néanmoins faire connaître les propriétés les plus remarquables de notre gamme majeure. Nous appelons *intervalle* le rapport qui existe entre un son et le son précédent; ce rapport s'obtient en divisant l'un par l'autre les nombres de vibrations. A ce point de vue, la comparaison avec la gamme pythagoricienne est très-instructive. La gamme pythagoricienne est exprimée par les rapports suivants :

$$1, \frac{9}{8}, \frac{81}{64}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, \frac{27}{16}, \frac{243}{128}, 2.$$

Les intervalles sont :

$$\frac{9}{8}, \frac{9}{8}, \frac{256}{243}, \frac{9}{8}, \frac{9}{8}, \frac{9}{8}, \frac{256}{243}.$$

Dans la gamme pythagoricienne il y a donc deux catégories d'intervalles : les uns de $\frac{9}{8}$, plutôt grands, que nous

appellerons *tons entiers*, les autres plus petits et très-compliqués $\frac{256}{243}$, que nous appellerons *demi-tons*.

La gamme pythagoricienne est composée de cinq tons égaux entre eux, et de deux demi-tons placés, l'un entre la tierce et la quarte, l'autre entre la septième et l'octave.

Dans notre gamme, au contraire, nous avons les rapports suivants :

$$1, \frac{9}{8}, \frac{5}{4}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, \frac{5}{3}, \frac{15}{8}, 2.$$

Ses intervalles sont :

$$\frac{9}{8}, \frac{10}{9}, \frac{16}{15}, \frac{9}{8}, \frac{10}{9}, \frac{9}{8}, \frac{16}{15}.$$

Les intervalles y forment trois catégories : les plus grands, $\frac{9}{8}$, qui reviennent trois fois, sont les mêmes que dans la gamme pythagoricienne ; les autres, un peu plus petits, $\frac{10}{9}$, se rencontrent deux fois. Nous appellerons les uns et les autres *tons entiers ;* mais, pour les distinguer l'un de l'autre, nous appellerons le $\frac{9}{8}$ *ton majeur*, et le $\frac{10}{9}$ *ton mineur*. Le troisième intervalle, notablement plus petit que les deux premiers, $\frac{16}{15}$, se rencontre deux fois, et à la même place que l'intervalle pythagoricien $\frac{256}{243}$. Nous l'appellerons *demi-ton majeur*, pour le distinguer de l'autre plus petit, $\frac{25}{24}$, dont je parlerai dans la suite, et que nous appellerons *demi-ton mineur*.

Si nous ne faisons pas de distinction entre le ton majeur et le ton mineur, nous voyons que la gamme majeure présente, comme la pythagoricienne, cinq tons entiers et deux demi-tons, distribués dans le même ordre. La différence entre les deux gammes consiste en ce que nous distinguons entre le ton majeur et le ton mineur, et en ce que notre demi-ton est beaucoup plus simple que le demi-ton de la gamme pythagoricienne. Nous avons donc trois intervalles différents au lieu de deux, et par suite, une plus grande complication, laquelle est largement compensée par des rapports et des intervalles plus simples. Mais la complication plus grande dont il s'agit ici, constitue aussi par elle-même une variété, et, par suite, une richesse plus grande pour notre musique.

Certaines finesses musicales, comme, par exemple, le caractère un peu différent qui subsiste entre les diverses intonations, trouvent leur explication naturelle dans cette plus grande variété d'intervalles musicaux. Et en réalité, l'intervalle entre l'*ut* et le *ré* n'est pas égal à l'intervalle *ré-mi*, l'effet *ut-ré* n'est pas identique à l'effet *ré-mi*. Le même raisonnement, appliqué à un morceau tout entier, amène à conclure que le choix du son fondamental et de l'intonation modifie un peu l'ordre des intervalles, et, par conséquent aussi, le caractère musical du morceau.

12. Notre seconde gamme est la gamme mineure, où la tierce majeure est remplacée par la tierce mineure, et où la sixte et la septième sont modifiées. Elle est composée des rapports suivants :

$$1, \frac{9}{8}, \frac{6}{5}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, \frac{8}{5}, \frac{9}{5}, 2.$$

Ses intervalles sont :

$$\frac{9}{8}, \frac{16}{15}, \frac{10}{9}, \frac{9}{8}, \frac{16}{15}, \frac{9}{8}, \frac{10}{9}.$$

Nous y retrouvons les mêmes intervalles que dans la gamme majeure : trois fois l'intervalle $\frac{9}{8}$, deux fois $\frac{10}{9}$, deux fois $\frac{16}{15}$. Elle diffère donc de la gamme majeure seulement en ce que les mêmes intervalles y sont distribués dans un ordre différent.

La gamme mineure s'emploie aussi sous la forme suivante :

$$1, \frac{9}{8}, \frac{6}{5}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, \frac{5}{3}, \frac{15}{8}, 2,$$

dont les intervalles sont :

$$\frac{9}{8}, \frac{16}{15}, \frac{10}{3}, \frac{9}{8}, \frac{10}{9}, \frac{9}{8}, \frac{16}{15}.$$

Sa première moitié se compose de la gamme mineure, et sa seconde moitié de la gamme majeure. Les intervalles sont encore les mêmes, mais autrement distribués. Cette seconde forme est employée de préférence pour la gamme ascendante, tandis que la première est employée pour la gamme descendante.

La gamme mineure a donc pour caractéristique la tierce mineure, tandis que la gamme majeure a la tierce majeure. Ces deux gammes peuvent ainsi être considérées comme l'évolution et l'émanation des accords parfaits majeur et mineur, auxquels elles sont intimement liées. Un morceau musical, qui se meut dans la gamme majeure, a pour base l'accord majeur; l'accord mineur est réservé aux morceaux qui s'exécutent dans la gamme mineure.

La différence caractéristique entre les deux gammes réside dans la tierce. Or, l'intervalle compris entre la tierce majeure $\frac{5}{4}$ et la tierce mineure $\frac{6}{5}$ se trouve en les divisant

l'une par l'autre. Cet intervalle est de $\frac{25}{24}$, c'est-à-dire plus petit que le demi-ton majeur $\frac{16}{15}$. Nous l'appelons pour cela le demi-ton mineur. Nous pouvons donc conclure que toute la différence qui existe entre la gamme majeure et la gamme mineure, se réduit à un demi-ton mineur appliqué à la tierce.

Mais si, mathématiquement parlant, cette différence est petite, elle est très-grande au point de vue esthétique. Tout ce que nous avons trouvé pour les accords parfaits s'applique aux deux gammes (voir chapitre VI). La gamme majeure, et tous les morceaux qui s'y rattachent, ont un caractère franc, gai, brillant; les morceaux qui ont pour base la gamme mineure, sont sombres, mélancoliques et surtout indécis. Il en faut chercher la raison dans les différents sons résultants qui se produisent dans les deux accords parfaits. On la trouve aussi dans les gammes. Nous conclurons en disant que des variantes, même faibles et en apparence peu importantes, modifient notablement le caractère d'un morceau de musique. Sous ce rapport, les gammes constituent l'ossature d'un organisme qui manifeste des caractères, des tendances, des développements très-différents, pour peu qu'on détermine des différences caractéristiques dans sa construction.

13. Il restait encore à la musique un autre pas à faire, et nous ne croyons pas qu'il soit entièrement fait aujourd'hui. Nous devons considérer la gamme à un autre point de vue, et nous verrons qu'elle est infiniment plus riche en ressources qu'on ne pourrait se l'imaginer tout d'abord.

Le pas en question consiste dans la transposition, et, sous la forme la plus artistique, dans le passage d'un ton à un autre. Supposons un instrument à sons fixes, comme le piano ; supposons que la gamme commence par *ut*, et qu'un

morceau de musique quelconque, par exemple une mélodie, soit écrit dans cette gamme. Le son fondamental ou la tonique est alors le *ut*. Or, il peut arriver qu'un chanteur qui doit exécuter cet air, la trouve trop basse ou trop haute pour sa voix, ou qu'il aime mieux la disposer de façon que la tonique soit par exemple *sol*.

Cela doit être possible, parce qu'en thèse générale, nous l'avons vu, tout son, quel que soit le nombre de ses vibrations, peut servir de point de départ, pourvu que les sons successifs se maintiennent avec le premier dans des rapports déterminés ; c'est-à-dire, au point de vue de la gamme, que les intervalles restent toujours les mêmes, quand on transpose la tonique de *ut* en *sol*.

Or, si nous examinons la gamme majeure, nous voyons que, *ut* étant la tonique, nous avons entre le *mi* et le *fa*, c'est-à-dire entre la tierce et la quarte, l'intervalle d'un demi-ton ; nous le trouvons aussi entre le *si* et le *ut*, c'est-à-dire entre la septième et l'octave. Donc, si nous transposons le morceau de *ut* en *sol*, pour ne pas altérer la distribution des demi-tons, nous devons recourir à une gamme qui, commençant par le *sol*, ait entre la tierce et la quarte, et entre la septième et l'octave, l'intervalle d'un demi-ton. Mais si nous écrivons une telle gamme, comme le faisaient les Grecs :

sol, la, si, ut, ré, mi, fa, sol,

nous voyons qu'entre la tierce et la quarte, c'est-à-dire entre le *si* et le *ut*, il y a le demi-ton demandé ; il n'en est pas de même entre la septième et l'octave, c'est-à-dire entre le *fa* et le *sol*. Nous trouvons le demi-ton entre la sixte et la septième, c'est-à-dire entre le *mi* et le *fa*. La gamme ne s'est donc pas conservée dans les rapports primitifs. On peut les rétablir, en haussant le *fa* d'un demi-ton, parce qu'alors l'intervalle compris entre la sixte et la septième

devient d'un ton, et celui compris entre la septième et l'octave devient d'un demi-ton.

14. Hausser une note d'un demi-ton, c'est *diéser* la note ; l'abaisser d'autant c'est la *bémoliser*. En théorie, diéser une note signifie multiplier la note par le rapport $\frac{25}{24}$, lequel est l'intervalle du demi-ton mineur. Inversement bémoliser une note, c'est la multiplier par le rapport inverse $\frac{24}{25}$.

Toute transposition d'une tonique à une autre entraîne la nécessité de diéser ou de bémoliser quelques-uns des sons existants. Ce que je vous ai démontré par un exemple s'applique à tous les cas. Nous pouvons transposer la tonique de *ut* en *ré*, en *mi*, en *fa*, etc., c'est-à-dire la poser sur tous les sons de la gamme. Par cette opération nous acquérons une quantité de sons nouveaux, et l'expérience démontre que nous devons pouvoir mettre des *dièses* à tous les sons de la gamme. Pour revenir à l'exemple du piano, nous voyons surgir ici la nécessité d'ajouter aux sept touches blanches d'une octave, sept touches noires, et non pas cinq comme on le fait dans la pratique ; parce que diéser veut dire multiplier par l'intervalle $\frac{25}{24}$ et que cet intervalle n'existe pas dans la gamme simple.

Pour être mieux compris, prenons un exemple. Entre le *mi* et le *fa* existe un intervalle d'un demi-ton majeur $\frac{16}{15}$. Si nous prenons un *mi* dièse, nous trouverons, en multipliant le *mi* par l'intervalle plus petit $\frac{25}{24}$, un son voisin du *fa*, mais plus bas. Le *mi* dièse ne coïncide donc pas avec le *fa*, comme les pianistes sont portés à le croire.

Mais la musique n'est pas forcée de s'arrêter à ces transpositions. Une fois ce principe admis que la tonique peut

se transposer, par exemple, du *ut* au *ré*, nous pouvons aussi la transposer de *ut* en *ut* dièse. Les considérations appliquées précédemment aux touches blanches s'appliqueront exactement aux sept touches noires supposées. En transportant donc successivement la tonique aux différentes notes dièses, nous devrons, pour conserver les mêmes intervalles, hausser de nouveau chacun des dièses d'un demi-ton ou le multiplier de nouveau par $\frac{25}{24}$. On a ainsi les doubles-dièses qui, formés de deux demi-tons mineurs, n'équivalent pas exactement à un ton entier majeur ou mineur. En effet, pour ne citer qu'un seul exemple, le double dièse de *ut* s'obtient en multipliant deux fois par l'intervalle $\frac{25}{24}$ ou par $\frac{625}{576}$. Ce chiffre représente donc l'intervalle compris entre le *ut* et le *ut* double dièse, tandis que l'intervalle entre le *ut* et le *ré* est exprimé par le rapport notablement plus grand $\frac{9}{8}$. Ces deux sons ne sont donc pas identiques.

Nous arrivons à cette conclusion que, pour rendre possibles toutes les transpositions dans ce sens, il faut avoir, outre les sept sons primitifs, sept sons pour les dièses, sept sons pour les doubles-dièses.

15. Un autre genre de transposition entraîne avec soi la nécessité d'abaisser l'un ou l'autre des sons de la gamme d'un demi-ton, en les multipliant par $\frac{24}{25}$, ce qui s'appelle bémoliser. Les considérations qui précèdent s'appliquent aussi aux bémols.

En raisonnant de la même manière, on arrive donc à conclure qu'il faut sept nouveaux sons pour les bémols, et sept autres encore pour les doubles-bémols. Je dois ajouter à cela que, en thèse générale, ces nouveaux sons ne coïncident pas avec les sons dièses déjà mentionnés. Dans

la musique d'exécution, et, spécialement sur le piano, on admet généralement que le dièse d'un son équivaut au bémol du son suivant, que, par exemple, *ut dièse* équivaut à *ré bémol*. Cela est faux. En effet *ut* étant égal à 1, *ut* dièse est exprimé par $\frac{25}{24}$. Or, *ré* étant $\frac{9}{8}$, *ré bémol* sera $\frac{9}{8} \times \frac{24}{25}$ ou $\frac{27}{25}$, c'est-à-dire plus haut que le *ut* dièse. Le *ut dièse* est donc un peu plus grave que le *ré bémol*, et des considérations semblables peuvent être invoquées pour tous les autres sons à intervalles entiers.

Quant aux demi-tons de la gamme la conclusion reste la même. Prenons, par exemple, l'intervalle *mi fa*, lequel équivaut à un demi-ton égal à $\frac{16}{15}$. Comme les dièses et les bémols correspondent à des intervalles de $\frac{25}{24}$ et de $\frac{24}{25}$, il s'ensuit que le *mi dièse* ne coïncide ni avec le *fa* bémol ni avec le *fa* et que nous devons en conséquence distinguer quatre sons différents *mi*, *fa bémol, mi dièse, fa*. Et en réalité la composition musicale distingue très-bien ces différents sons, et quand on écrit un morceau, il n'est pas permis de les confondre.

Il s'ensuit que le piano, pour tenir un compte exact de toutes ces exigences, devrait avoir, par chaque octave, un clavier avec sept touches pour les sons primitifs de la gamme, et quatre autres claviers, chacun de sept touches pour les dièses, les doubles-dièses, les bémols, et les doubles-bémols, c'est-à-dire trente-cinq touches en tout à l'octave. Il est vrai que quelques-uns de ces sons coïncident sensiblement entre eux, et que par conséquent un nombre un peu moindre de touches satisferait aux exigences scientifiques. Mais il n'est pas moins vrai que la musique, et en particulier la musique instrumentale, aurait dû s'arrêter devant une telle complication.

16. A mesure que la musique se développait par rapport à la possibilité des transpositions, nous voyons que de nombreuses tentatives surgissaient pour diminuer le nombre des sons superflus et pour faciliter l'exécution pratique. Ces tentatives sont toutes fondées sur les principes suivants : abandonner les rapports strictement mathématiques, se contenter de sons approximativement justes, pourvu que l'erreur ne soit pas trop sensible à l'oreille, et considérer comme identiques des sons peu différents les uns des autres. Le résultat de ces tentatives multiples, que nous voyons surgir spécialement vers la fin du XVIIe siècle et vers le commencement du XVIIIe, est la *gamme tempérée*, qui fut complétement développée vers la moitié du siècle dernier, spécialement par l'œuvre de Sébastien Bach, qui lui consacra quarante-huit de ses préludes et de ses fugues les mieux inspirées. Elle part de ces principes : ne pas distinguer entre le ton majeur et le ton mineur, confondre le demi-ton majeur avec le demi-ton mineur, et considérer comme identiques le dièse d'une note et le bémol de la note suivante. De cette façon, tous les sons de l'octave se réduisent à douze, que l'on considère comme équidistants entre eux, et c'est sur ce principe que sont construits les pianos, les orgues, etc., où avec sept touches blanches et cinq touches noires on pourvoit à tous les sons compris dans une octave.

La gamme tempérée a été généralement acceptée ; elle est même tellement entrée dans les usages journaliers, que nos artistes modernes ne savent plus que c'est une gamme inexacte, née d'une transaction destinée à obvier aux difficultés pratiques de l'exécution musicale. C'est à elle qu'on doit les grands progrès réalisés par la musique instrumentale, et l'importance toujours croissante du piano dans la vie sociale.

Mais nous croyons qu'elle n'est pas le dernier mot du progrès sous ce rapport. Il serait certainement très-désirable qu'on revînt à la gamme exacte (ou naturelle), avec

les facilités que réclame encore la pratique. Il est incontestable que la gamme tempérée a effacé de nombreuses finesses, et qu'elle a donné à la musique, fondée sur des lois simples et exactes, un caractère d'approximation grossière. Mais avant d'aller plus loin, il nous faut examiner les valeurs des différentes gammes, et faire mieux apprécier la mesure de leur différence.

Supposons que le son fondamental fasse 240 vibrations par seconde, et appelons-le *ut;* notre gamme majeure est représentée par les chiffres suivants :

ut,	ré,	mi,	fa,	sol,	la,	si,	ut.
240,	270,	300,	320,	360	400	450	480 ;

la gamme mineure par

240, 270, 288, 320, 360, 384 432 480 ;

la gamme pythagoricienne par

240, 270, 303 $\frac{3}{4}$, 320, 360, 405, 455 $\frac{5}{8}$, 480 ;

enfin la gamme tempérée majeure par

240, 269 $\frac{2}{5}$, 302 $\frac{2}{5}$, 320 $\frac{2}{5}$, 359 $\frac{3}{4}$, 403 $\frac{2}{5}$, 403, 480.

Si nous comparons la gamme tempérée à la gamme mathématique, nous voyons que, sauf les sons fondamentaux et leurs octaves, il n'y a point de sons qui coïncident exactement. Dans la gamme tempérée, tous les sons sont un peu modifiés, tantôt en plus, tantôt en moins.

Prenons, par exemple, la tierce. Elle donne ici, pour la gamme exacte, 300 vibrations, pour la gamme tempérée, 302 $\frac{2}{5}$. Donc il y a ici une différence de 2 $\frac{2}{5}$ vibrations. On dira que cette différence est petite ; mais si on considère

qu'elle est égale aux $\frac{2}{3}$ environ de celle qui nous est fournie par la gamme pythagoricienne, où la tierce est représentée par 303 $\frac{3}{4}$, il faut bien convenir qu'elle n'est rien moins que négligeable. Nous avons vu que la musique grecque n'à pas développé l'harmonie, spécialement parce que la tierce et la sixte étaient dissonnantes. Il faut donc conclure que notre harmonie, fondée sur la gamme tempérée, est encore très-défectueuse.

Il nous faut encore réfuter un autre argument. Dans notre exemple, la différence entre la tierce majeure et la tierce mineure est de douze vibrations, la première en ayant 300, et la seconde 288. Or, si douze vibrations suffisent pour changer le caractère de l'accord fondamental, on conviendra que 2 $\frac{2}{5}$ vibrations ne peuvent plus être négligeables, et qu'elles doivent produire une dissonnance sensible. Finalement, nous savons que chaque fois qu'un accord n'est pas parfaitement juste, il donne lieu à des battements. Dans le piano, ces battements ne sont pas très-sensibles, mais dans les instruments à sons pleins, nourris et prolongés, comme l'orgue, ils deviennent très-désagréables, surtout quand ils sont fréquents. Dans notre exemple, les battements ne seraient que de 2 $\frac{2}{5}$ par seconde, ce qui serait déjà désagréable; et cependant nous avons pris des sons graves de 200 et 300 vibrations. Pour les sons élevés les battements sont beaucoup plus fréquents. En appliquant l'exemple à une octave plus élevée, on voit que le nombre des vibrations devient double et celui des battements aussi, ce qui doit produire un effet très-désagréable.

Les sons résultants sont aussi profondément altérés et, au lieu de renforcer les sons déjà existants et de rentrer dans l'harmonie générale de l'accord, ils sont en désaccord

avec eux ; ils ne sont pas assez forts pour produire de vraies dissonnances, mais ils le sont toujours assez pour troubler la sereine tranquillité et la transparence d'un accord.

La musique fondée sur la gamme tempérée doit donc être considérée comme une musique imparfaite, très-inférieure à notre sensibilité et à nos aspirations musicales. Si nous la supportons et même si nous la trouvons belle, cela provient uniquement de ce que notre oreille a été systématiquement faussée depuis l'enfance[1].

17. Le professeur Helmholtz s'est fait construire un harmonium qui lui permet de jouer à volonté avec la gamme exacte et la gamme tempérée, pour voir s'il existe réellement entre elles une différence appréciable. Pour peu que l'oreille s'y habitue, la différence devient très-sensible. Avec la gamme exacte, les accords consonnants deviennent beaucoup plus doux, plus clairs et plus transparents, les accords dissonnants plus forts et plus mordants ; la gamme tempérée, au contraire, mêle le tout dans une teinte uniforme, sans caractère tranché. Dans la première, les sons résultants ont une importance plus grande et, en général,

1. Dans ces derniers temps, M. Cornu a fait des expériences très-ingénieuses, dans lesquelles il mesurait directement les vibrations produites par de bons chanteurs et de bons violonistes, quand ils exécutaient une mélodie avec toute l'attention possible. Il a constaté ainsi que ces artistes ne se servaient point de la gamme exacte ni de la gamme tempérée, mais d'une gamme peu différente de la gamme pythagoricienne ; d'où il concluait que la gamme pythagoricienne doit toujours être considérée comme la gamme de la mélodie, tandis que notre gamme moderne doit être regardée comme la gamme de l'harmonie. En vérité, cette distinction, si elle existe réellement, n'a pas une grande importance pratique, car la mélodie pure sans harmonie n'existe plus aujourd'hui et ne serait pas goûtée. Il suffit qu'un chant soit accompagné de la manière la plus simple possible, pour obliger le chanteur à employer la gamme harmonique afin d'éviter les sons faux. Toutefois le fait en lui-même est très-intéressant et mérite d'être examiné avec soin. Il démontrerait en nous une certaine tendance à suivre dans la mélodie la gamme pythagoricienne, et donnerait une base très-naturelle à la mélodieuse musique des Grecs. Ajoutons que les expériences et les conclusions de M. Cornu ont été vivement combattues et contestées par M. G. Guéroult, le traducteur français de l'ouvrage d'Helmholtz, lequel est arrivé de son côté, par des expériences directes sur un harmonium juste, à un résultat tout opposé.

la musique prend un caractère plus décidé, plus franc, plus robuste et plus doux. Ce fait prouve que les résultats de la théorie ne sont pas de pures spéculations ou des exagérations pédantesques, mais qu'ils ont, au contraire, une véritable valeur réelle qui doit les faire accepter également dans la pratique.

Exprimons donc le vœu qu'il vienne pour la musique une ère nouvelle et féconde où la gamme exacte sera substituée à la gamme tempérée, ou tout au moins, qu'on trouve, pour les grandes difficultés de l'exécution musicale, une solution plus satisfaisante que celle qui nous est fournie par la gamme tempérée, laquelle est bien simple mais trop grossière.

Tous les instruments à archet, qui sont l'âme de l'orchestre, la voix humaine, qui restera toujours le son musical le plus agréable et le plus plein, ont des sons parfaitement libres et peuvent se mouvoir au gré de l'artiste. Le retour à la gamme exacte ne présente pour eux aucune difficulté. Il en est de même pour les instruments à vent, encore très-imparfaits malgré les progrès déjà réalisés, mais pour lesquels l'instrumentiste peut, avec le secours de ses lèvres, élever ou abaisser un peu le son. Un joueur de flûte ou de trompette pourrait donc jouer avec la gamme parfaite, comme il joue maintenant avec la gamme tempérée, et les mêmes considérations s'appliquent à la majeure partie des instruments à vent. Il ne nous paraît donc pas impossible, ni même vraiment bien difficile, que les grands orchestres et les chœurs puissent exécuter un morceau dans la gamme exacte.

On rencontre de plus grandes difficultés pour les instruments à sons fixes, c'est-à-dire pour le piano et l'orgue. Le piano est un instrument si imparfait que, malgré la grande vogue dont il jouit, nous ne pouvons lui accorder une place importante dans la musique d'exécution proprement dite. En effet, les orchestres n'ont point de piano;

il reste ainsi confiné entre les murs des appartements ou dans les salles de concert. Le défaut principal du piano consiste en ce que les sons s'éteignent rapidement, quelle que soit l'habileté du pianiste. Les battements et les sons résultants s'y font difficilement entendre. Les sons faux deviennent donc moins sensibles, et c'est la raison qui nous fait supporter les sons d'un instrument qui, d'un jour à l'autre, ne tient pas l'accord. Le piano est le véritable instrument de la gamme tempérée ; il s'est développé, a vécu, et probablement tombera avec elle. Ses défauts ont eu une influence notable, même sur la musique écrite pour cet instrument. Le chant a été toujours de plus en plus négligé ; on lui a substitué des traits compliqués à l'infini, des gammes, des cadences, des trilles, etc., plus propres à flatter l'amour-propre de l'exécutant que le sentiment musical de l'artiste. Aux lignes simples et peu nombreuses, qui constituent les grandes œuvres musicales, succédèrent les arabesques infinies d'un rococo d'un nouveau genre.

Pour un instrument qui ne tient pas l'accord, des réformes de ce genre nous paraissent superflues. Mais ce n'est pas le cas de l'orgue, qui a bien perdu une grande partie de son crédit, en même temps que l'église où il est principalement employé, mais qui, musicalement parlant, est toujours un instrument d'une grande valeur. Les battements et les sons résultants y sont très-prononcés et devraient par conséquent nous amener à tenter l'importante réforme des gammes musicales. Or, il est évident que vouloir doter l'orgue de tous les sons nécessaires serait se heurter à une complication très-grande.

Mais il paraît, d'après Helmholtz, qu'en partant de considérations un peu différentes, avec 24 sons à l'octave on peut pourvoir à tout d'une façon très-satisfaisante. C'est le double des touches que nous avons actuellement ; mais quand on considère la grande habileté déployée par nos pianistes avec douze touches à l'octave, il est permis de

croire que même 24 touches bien disposées n'offriraient pas à l'exécution des difficultés insurmontables ; et quand même il faudrait renoncer aux complications et aux fioritures musicales, la vraie musique, la musique sérieuse ne pourrait qu'y gagner.

Je termine donc ce chapitre en exprimant le vœu qu'on finisse par abandonner la gamme tempérée. Elle a fait son temps et n'a vraiment plus de raison d'être. L'homme peut avoir une musique beaucoup plus raffinée que celle que nous exécutons aujourd'hui. Je dis cela sans m'occuper des différentes écoles qui divisent actuellement l'Europe musicale, parce que les raisons précédentes s'appliquent à toutes. Mais ceux qui croient que le rôle musical de l'Italie consiste à cultiver et à développer la mélodie, devraient être les premiers à tenter et à favoriser une telle réforme. Le chant y gagnerait beaucoup ; on aurait une musique mélodieuse, accompagnée d'accords simples et pleins ; bien mieux encore, une telle réforme donnerait à la musique vocale à plusieurs parties, un charme inconnu jusqu'à présent. Déjà notre ancienne musique, la musique chorale des Palestrina et des Basily prend une tout autre allure, et devient beaucoup plus intelligible quand elle est exécutée dans la gamme exacte.

Ce serait une grande réforme qui ne s'improvise pas en peu de temps. Mais, une fois accomplie, elle constituerait par elle-même un grand progrès. Si certains instruments réclament des modifications plus ou moins profondes pour se prêter à ces nouvelles exigences, le quatuor et la musique chorale pourraient au contraire, dès à présent, être enseignés et exécutés dans la gamme exacte.

CHAPITRE VIII

LE TIMBRE

1. Timbre des sons musicaux. — 2. Forme des vibrations, méthode optique. — 3. Autre méthode optique. — 4. Méthode du phonautographe. — 5. Loi des sons harmoniques. — 6. Timbre des cordes et des instruments. — 7. Loi générale sur les accords. — 8. Bruits qui accompagnent les sons. — 9. Timbre des voyelles.

1. La troisième différence caractéristique des sons réside dans le *timbre*. Supposons la même note chantée par différentes voix humaines, jouée sur le piano, le violon, la flûte, etc. ; il n'est pas besoin d'une oreille exercée pour reconnaître que ces sons, de même hauteur, de même intensité, sont pourtant différents entre eux. L'oreille va même plus loin ; elle distingue non-seulement entre le violon et la flûte, mais aussi entre les violons des différents facteurs. Cette différence influe d'une façon très-notable sur le prix de l'instrument. Ainsi, par exemple, tandis qu'un violon ordinaire coûte quelques dizaines de francs, on paie des milliers de livres un bon Stradivarius ou un Amati. Il en est de même de tous les instruments de musique. Cependant, pour la plupart d'entre eux, les différences de prix ne sont pas aussi fortes, parce que la facture moderne est en état d'en fournir autant qu'on veut, tandis que les violons deviennent meilleurs et plus chers en vieillissant.

La différence de timbre est donc très-importante et très-

caractéristique. Dans la voix humaine, le plus agréable et le plus riche des instruments solitones, la variété est infinie. Il n'y a peut-être pas deux individus qui aient exactement le même timbre de voix. Le timbre et les inflexions sont pour nous un des plus sûrs moyens de reconnaître les personnes.

Or, l'intensité des sons dépend de l'amplitude, leur hauteur de la durée des oscillations. On peut donc se demander en quoi deux oscillations, qui ont même amplitude et même durée, peuvent encore différer entre elles de façon à produire une différence aussi marquée que celle du timbre.

Dans l'étude des différentes oscillations et des causes qui produisent le timbre, on peut procéder de deux manières différentes. Nous pouvons tracer graphiquement les courbes des oscillations, ou bien les rendre visibles d'une autre façon, et examiner en quoi elles diffèrent les unes des autres. Nous pouvons encore analyser les sons provenant de divers instruments et voir si, à côté du son principal qu'on entend, il n'y a pas d'autres sons ou bruits concomitants, qui altèrent le timbre du son simple, et lui impriment ainsi un caractère spécial. Je me propose d'employer les deux méthodes, et je m'appuierai pour cela sur des exemples importants. Quant à la forme des vibrations, je démontrerai qu'outre l'amplitude et la longueur de l'oscillation, on doit tenir compte aussi de la forme spéciale de la courbe qui la représente. Ainsi, par exemple, les courbes 1, 2, 3 de la figure 27 ont toutes les trois la même amplitude *a b* et la même longueur A B, mais la forme est différente pour chacune d'elles, et c'est de cette forme spéciale que dépend précisément ce qu'on appelle le timbre. Je montrerai expérimentalement comment ces courbes peuvent être rendues visibles.

2. De tous les corps sonores, c'est le diapason qui donne les vibrations les plus simples, vibrations qui peuvent se

comparer aux oscillations d'un pendule et que, dans le premier chapitre, nous avons appelées vibrations simples.

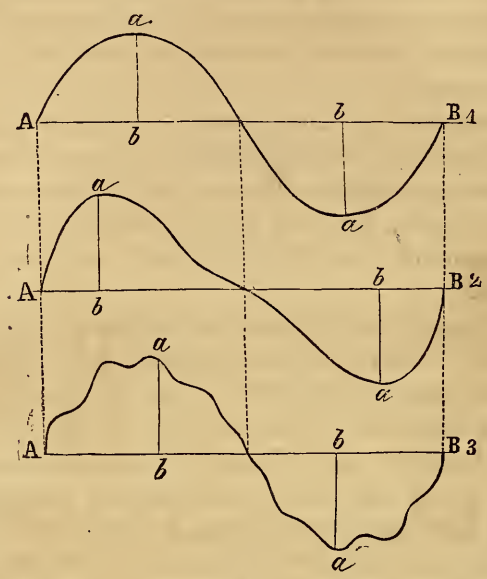


Fig. 27.

Elles ont la forme de la courbe 1 (fig. 27). Elles se tracent sur le papier par la méthode graphique expliquée dans le premier chapitre. Mais on peut aussi les rendre visibles de la manière suivante. Je prends un diapason assez grand, F, sur lequel est fixé un petit miroir vers l'extrémité d'une de ses branches; sur l'autre branche se trouve un contre-poids (fig. 28). Je fais tomber de la fenêtre un rayon de soleil sur le petit miroir du diapason, et je le renvoie par réflexion, d'abord sur un miroir concave, ensuite sur un transparent de papier.

J'obtiens ainsi sur le transparent l'image du trou, pratiqué dans la fenêtre, sous forme d'un point brillant. On voit ce point immobile tant que le diapason ne bouge pas; mais

s'il vibre, le miroir participe à ses vibrations, et produit sur le transparent, au lieu d'un point, une ligne lumineuse verticale. Cette ligne se produit parce que notre œil ne peut suivre les mouvements rapides du point lumineux, qui change de place à chaque instant. Mais, si je fais mouvoir rapidement avec la main le miroir concave de façon qu'il tourne autour d'un axe vertical, les différents points lumineux qui correspondent à des instants différents vont frapper des points très-différents du transparent, et il se

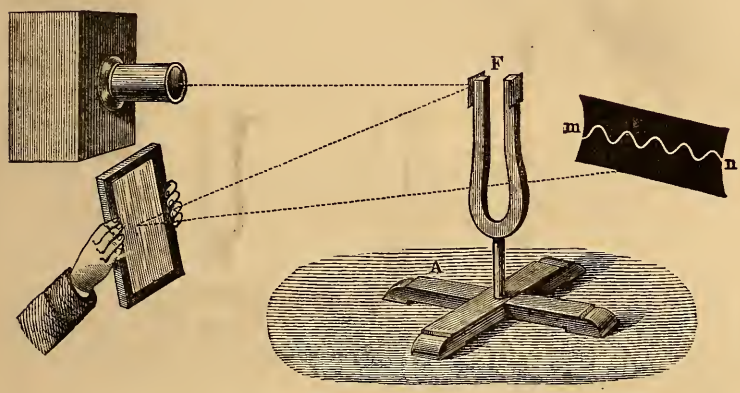


Fig. 28.

forme ainsi une belle courbe *m n*, qui nous représente la forme des vibrations. L'amplitude dépend évidemment de l'énergie plus ou moins grande avec laquelle je fais vibrer le diapason ; la longueur varie avec la rapidité de la rotation du miroir concave et dépend par suite de ma volonté. Mais, si je fais tourner le miroir juste assez vite, j'obtiens une très-belle courbe sinueuse qui a précisément la forme des vibrations simples.

Cette belle méthode optique, imaginée par Lissajous, pour démontrer les vibrations des diapasons, est très-féconde et permet de réaliser un grand nombre d'expériences. Il

est intéressant d'étudier ce qui arrive lorsque deux vibrations se combinent ensemble de différentes manières. Il en résulte des mouvements composés, parfois très-compliqués. Nous allons voir, entre beaucoup d'autres, un exemple qui sert très-bien à démontrer la théorie des battements (chapitre V). La fig. 29 montre la disposition qu'il convient d'adopter dans ce cas.

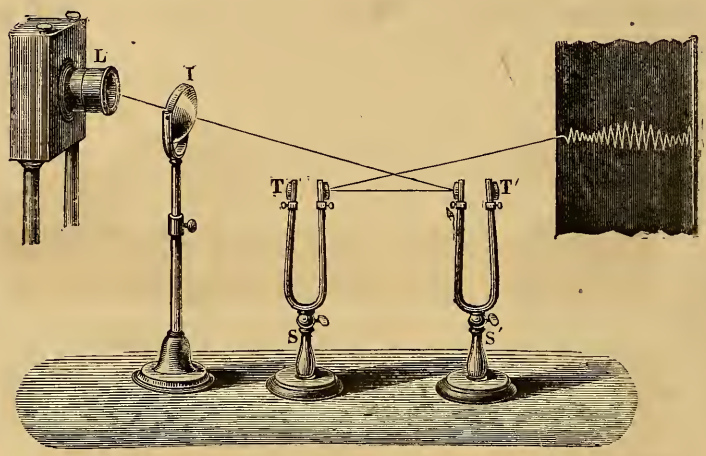


Fig. 29.

Par la fenêtre, ou par une caisse close L, on fait entrer dans la chambre un faisceau de rayons solaires ou artificiels qui, concentrés convenablement au moyen d'une lentille I, vont tomber sur le miroir d'un premier diapason T′, puis, par réflexion, sur le miroir d'un second diapason T, enfin sur un transparent de papier où se forme l'image du point lumineux. Ces deux diapasons sont parfaitement égaux et donnent le même son. J'ébranle avec l'archet le diapason T ; il vibre et change le point lumineux sur le transparent en une longue ligne verticale. Si j'ébranle aussi le second diapason M′, la ligne verticale de-

vient plus longue ou plus courte, suivant que les mouvements vibratoires de ces deux diapasons se produisent ensemble ou à contre-temps, et par conséquent se renforcent ou s'affaiblissent dans leurs effets.

Cela posé, je fixe avec de la cire une petite pièce de monnaie sur le diapason T; ses vibrations se ralentissent et il me donne des battements très-marqués avec l'autre diapason T'. La ligne verticale est maintenant de dimensions variables, tantôt longue, tantôt courte, et à tout battement correspond un de ces changements. La raison en est simple. A tout battement correspond un renforcement et un affaiblissement du son, et, par conséquent, il y a un moment où les mouvements des deux diapasons s'ajoutent, et un autre où ils s'affaiblissent dans leurs effets. Cette ligne verticale peut

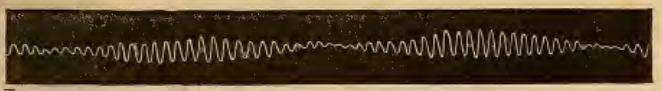


Fig. 30.

facilement se transformer en une ligne ondoyante; il suffit pour cela d'agiter rapidement le diapason T. On obtient ainsi la fig. 30, où ces renforcements et ces affaiblissements sont nettement indiqués.

3. Les vibrations d'une corde sont beaucoup plus compliquées que celles d'un simple diapason. La fig. 31 indique la disposition qu'il convient de prendre pour constater ce fait : à la fenêtre F de la chambre est adapté un miroir S, qu'on peut incliner dans tous les sens; il recueille un faisceau de rayons solaires et les envoie dans la chambre à travers le trou S'. Ces rayons éclairent une corde (ou mieux, une portion de la corde) C du sonomètre. L'image agrandie de la corde est projetée au loin, au moyen de la lentille L sur un transparent (non représenté visible dans la figure).

Si l'on fait vibrer la corde, on voit que l'image s'agrandit et devient plus étendue, parce que l'œil ne peut suivre la corde dans la rapidité de ses mouvements. Pour bien voir l'image de la corde à un moment donné, il faudrait l'éclairer un seul instant pendant que l'on se tiendrait dans l'obscurité. On pourrait le faire, par exemple, au moyen de l'étincelle électrique, qui a une durée

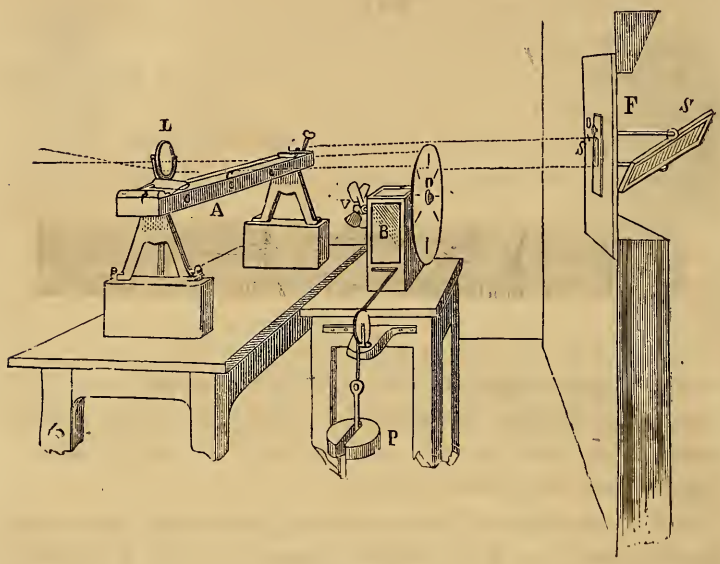


Fig. 31.

extrêmement courte. Mais l'éclairage ainsi obtenu est faible, et le phénomène ne peut être observé qu'à une petite distance. On pourrait aussi fermer la fente S', par laquelle entre le faisceau de rayons solaires, puis l'ouvrir pendant un temps très-court. De cette façon on obtiendrait, pour un instant, un éclairage très-vif de la corde vibrante, et l'état de la corde à ce moment serait ainsi rendu visible. Mais cette méthode présenterait aussi

des inconvénients; le phénomène aurait une durée très-courte, et serait difficile à observer dans ses détails.

Nous pouvons cependant perfectionner cette méthode de façon à éclairer la corde à de très-courts intervalles, chaque fois qu'elle revient dans la même position. Nous obtenons ainsi un éclairage à intervalles rapprochés, éclairage qui fait apparaître la corde dans la position donnée comme si elle était fixe. L'important est donc de trouver un procédé qui permette d'éclairer la corde, chaque fois qu'elle se trouve dans la même position.

Pour cela je prends un disque de carton D (fig. 31), lequel porte huit fentes étroites, disposées à distances égales sur la circonférence d'un cercle. Je fais tourner rapidement ce disque au moyen d'un excellent appareil à rotation B, mu par le poids P, et dont le régulateur est le volant à palettes V; cet appareil permet de donner au disque un mouvement uniforme et d'en faire varier à volonté la vitesse. Ceci s'obtient facilement, en augmentant ou diminuant le poids et en modifiant la forme du volant; après quelques essais on réussit à trouver la vitesse nécessaire. L'appareil fonctionne donc de la manière suivante. Le disque, placé devant l'orifice par lequel pénètrent les rayons solaires, l'intercepte complétement; mais chaque fois que se présente une des fentes, les rayons passent et vont éclairer la corde. Si donc la vitesse du disque est réglée de façon que, dans le temps nécessaire pour que la première, la seconde, la troisième fente, etc., du disque se présentent successivement devant l'orifice, la corde fasse un mouvement complet et revienne à la position primitive, j'obtiens qu'elle soit éclairée à intervalles égaux et toujours dans la même position. La corde doit sembler immobile et apparaître sous la forme qu'elle a au moment et dans la position donnés. Les figures qu'on obtient sont très-nettes, mais compliquées, et elles peuvent facilement se dessiner parce que le phénomène

demeure comme fixe pendant un temps aussi long qu'on veut. Mais elles changent de forme suivant la façon dont on fait vibrer la corde. Si je la pince au tiers, au quart de sa

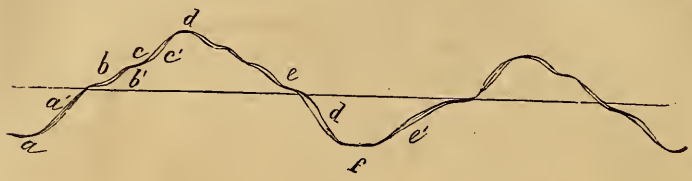


Fig. 32.

longueur ; si je la pince au septième ou au huitième, si je l'ébranle avec l'archet à un point ou à un autre, j'obtiens des figures sensiblement différentes. La fig. 32 montre, à titre d'exemple, la forme qu'on observe quand la corde est pincée au septième de sa longueur. La forme est compliquée et, chose remarquable, l'image n'est pas également nette et précise en tous ses points. Aux points *a*, *b*, *c*, *d*.... nous avons une ligne noire et ténue ; aux points intermédiaires *a'*, *b'*, *c'*, *d'*.... l'image est agrandie, élargie. Les différentes portions de la corde exécutent en ces derniers points des vibrations très-rapides, que mon disque, encore trop lent dans sa rotation, ne parvient pas à séparer. Ces portions se comportent comme une corde éclairée dans les conditions ordinaires, d'une façon continue ; cette corde nous montre alors, non sa forme, mais les limites entre lesquelles elle vibre.

4. Un appareil très-utile dans beaucoup de recherches acoustiques, et en particulier pour résoudre la question qui nous intéresse, c'est le *phonautographe de Scott* (fig. 33 et suiv.).

Une grande caisse harmonique A, de forme paraboloïde, ouverte du côté le plus grand, est fermée par le petit bout au moyen d'une membrane animale très-mince M qui se tend plus ou moins, grâce à trois vis *v* (dont une seule est

représentée dans la figure). Un morceau de moelle de sureau *a*, taillé à angle droit, est fixé à la membrane et porte à son extrémité une pointe légère et flexible *p*.

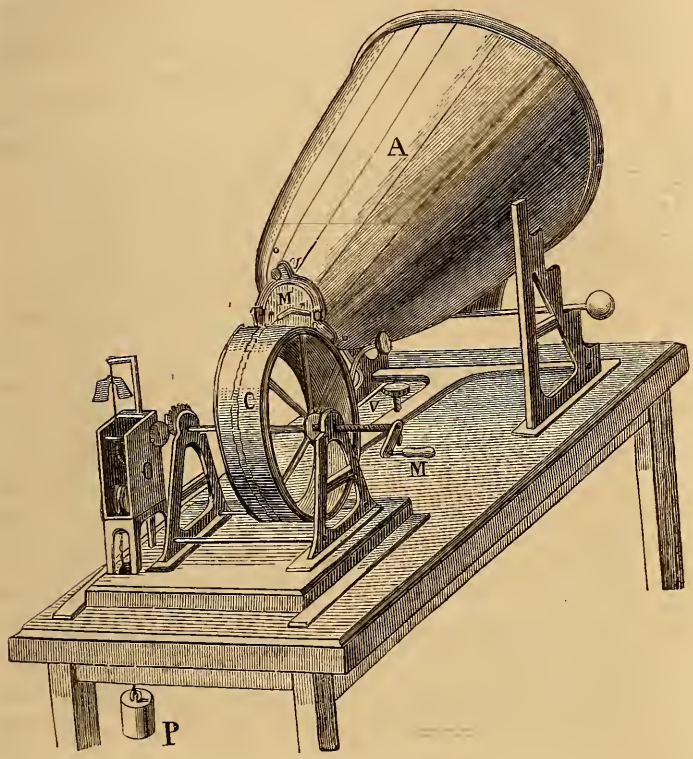


Fig. 33.

Un son, produit en avant du paraboloïde A, s'y renforce; la membrane M vibre, le sureau participe aux vibrations et la pointe *p* vibre fortement dans un sens perpendiculaire à sa propre direction. Les vibrations sont ensuite rendues visibles par la méthode graphique. La pointe *p* touche la surface du cylindre tournant C, et la vis V sert à régler ce

contact. Le cylindre est recouvert d'une feuille de papier très-lisse, noircie à la fumée d'une lampe à pétrole ; on lui imprime un mouvement de rotation au moyen de la manivelle M, ou, ce qui vaut beaucoup mieux, au moyen d'un mouvement d'horlogerie O à rotation constante, commandé par le poids P. L'axe du cylindre C est à vis, pour que les différents tours ne se superposent pas.

Le phonautographe est un instrument très-utile qui peut servir à des recherches nombreuses et variées. Les vibrations sonores sont tracées par lui avec une grande régularité. Si on prend deux tuyaux d'orgue peu différents entre eux et qu'on produise des battements, les sons obtenus sont tracés très-régulièrement sur le cylindre tournant. On a ainsi de très-belles courbes semblables à celles que donne la méthode optique (fig. 30).

Mais cet instrument ne sert pas seulement à démontrer les vibrations ; il peut aussi servir utilement à faire connaître la forme spéciale de la courbe correspondante. Sous ce rapport le phonautographe n'est peut-être pas absolument exact ; il peut arriver qu'il n'enregistre pas tous les sons partiels qui entrent dans la formation du son composé ; il peut arriver aussi qu'il ajoute quelque chose qui lui soit propre [1].

Mais, malgré ces petits défauts, il montre très-bien qu'à des sons de timbre différent correspondent des courbes différentes et très-caractéristiques. La manière d'opérer reste toujours la même. Il suffit de produire le son qu'on veut examiner, avec une énergie suffisante, en avant de la bouche de l'instrument qui alors trace de lui-même la courbe cherchée.

1. L'effet est plus sûr et les courbes obtenues sont plus belles et plus nettes, quand on renverse la moelle de sureau, qu'on l'attache seulement à la partie centrale de la membrane et qu'on munit d'une charnière la partie coudée afin qu'elle puisse se mouvoir librement. Les courbes ainsi obtenues sont beaucoup plus belles et mieux caractérisées que celles représentées fig. 34.

La fig. 34 représente quelques-uns des cas les plus intéressants sous ce rapport. Chaque ligne horizontale contient deux courbes un peu différentes qui répondent au même son, et qui dépendent de l'énergie plus ou moins grande avec laquelle le son est émis. Généralement les sons nets donnent des courbes plus compliquées et plus caractéristiques que les sons confus.

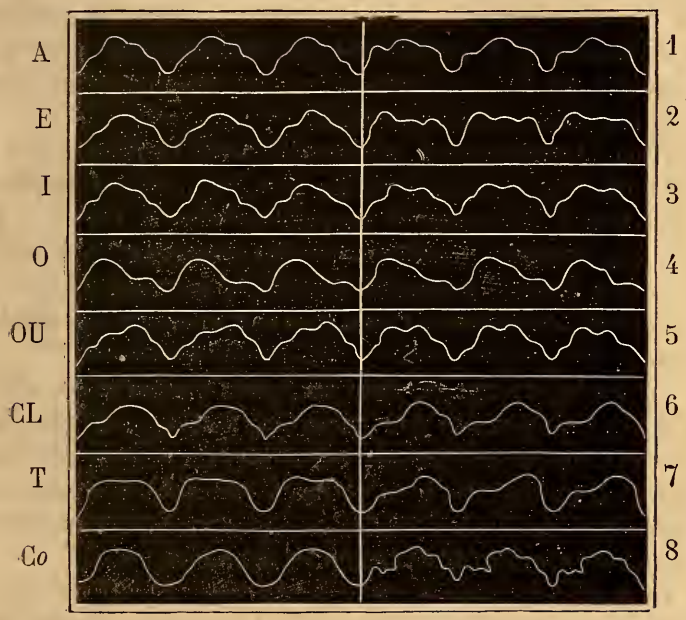


Fig. 34.

Les cinq premières lignes contiennent les vibrations obtenues par la voix robuste d'un baryton qui chantait le *sol*, en prononçant d'une façon plus ou moins claire les voyelles A, E, I, O, OU. La sixième et la septième ligne contiennent les courbes obtenues par la clarinette et la trompette ; la dernière enfin contient, à titre de complé-

ment, la courbe obtenue par Quincke avec une autre méthode, pour une corde vibrante, la première moitié, quand la corde était ébranlée à 1/3, la seconde, quand la corde était ébranlée à 1/20 de sa longueur.

5. Toutes ces courbes, si variées et très-intéressantes, font surgir une autre question. Quel rapport y a-t-il entre ces vibrations compliquées et les vibrations simples trouvées pour le diapason? On peut démontrer facilement que les vibrations compliquées peuvent être considérées comme la somme de 2, 3, etc., vibrations simples. Ainsi posé le problème est trop général; je vais le restreindre au cas plus simple qui nous intéresse.

Prenons un exemple. Supposons trois vibrations données, choisies de telle manière que leurs durées respectives soient inversement proportionnelles à 1 : 2 : 3 (fig. 35). Si nous admettons que ces trois vibrations doivent être exécutées simultanément par le même corps, il est très-facile de déterminer la courbe du mouvement résultant.

Pour cela, il suffit de tirer les lignes verticales ab, $a'b'$, $a''b''$.... de prendre sur elles les valeurs de chaque courbe et de les additionner ensemble. On dessine ainsi la courbe 4, où chaque ligne verticale est égale à la somme algébrique des lignes verticales correspondant aux trois premières courbes. C'est la courbe cherchée.

De la même manière, les courbes de la fig. 27 ont une signification nettement déterminée. La première courbe est simple; la seconde résulte de deux autres dont les longueurs sont comme 2 : 1; la troisième est formée des rapports 8 : 1.

Vous voyez par ces exemples, qu'une courbe compliquée peut être considérée comme la résultante de plusieurs courbes simples, et que la courbe composée est différente suivant la forme et le nombre des courbes simples qui la composent. Elle est, en thèse générale, d'autant plus

compliquée que le nombre et la complication des formes des courbes composantes sont plus grands.

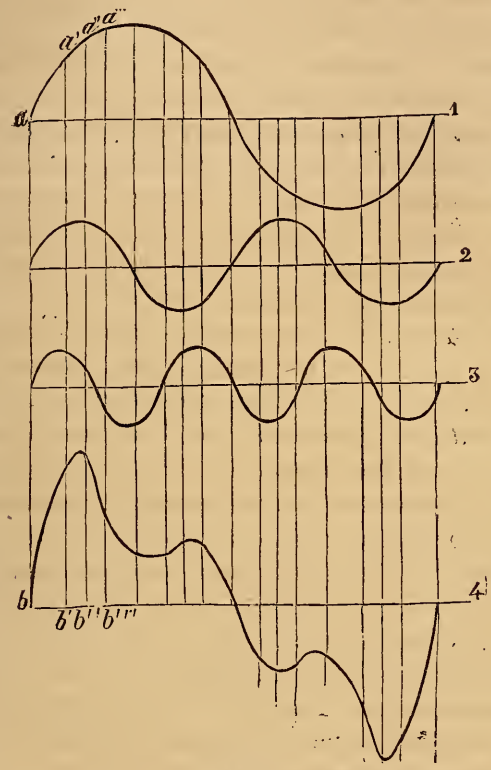


Fig. 35.

Or, du moment que des courbes simples combinées ensemble donnent des courbes compliquées, on peut se demander si toute courbe compliquée peut se décomposer en courbes simples. Ainsi posé, le problème est très-général et ne peut être résolu qu'au moyen du calcul. Il ne me serait donc pas possible d'aborder ici ce sujet. Mais son importance capitale m'oblige à dire au moins le résultat auquel on arrive. Le calcul démontre que ce pro-

blème peut toujours être résolu. Quelque compliquée que soit la forme d'une courbe périodique, elle peut toujours être décomposée en un nombre plus ou moins grand de courbes simples, pourvu que celles-ci soient choisies de façon que les nombres respectifs de leurs vibrations soient dans les rapports simples des nombres naturels 1, 2, 3, 4, 5.

Cela veut dire qu'une courbe compliquée, représentant, par exemple, les vibrations d'une corde, peut toujours être décomposée en une vibration simple du même nombre, plus une d'un nombre double, plus une d'un nombre triple, etc., de vibrations.

Or, comme les vibrations dont les nombres sont comme 1 : 2 : 3 : 4 : 5. etc., forment les sons de ce que nous avons appelé la série harmonique, le résultat du calcul peut s'exprimer acoustiquement de la manière suivante : *tout son dont les vibrations ont une forme compliquée, comme celle de la corde, doit pouvoir se décomposer en une série de sons simples, appartenant tous à la série harmonique.* A l'aide de ce théorème, nous pouvons retrouver dans les sons composés tous les sons simples qui les composent, et nous avons ainsi une seconde méthode expérimentale pour étudier le timbre des sons.

6. L'expérience démontre que les sons des cordes ne sont jamais simples, mais qu'ils sont accompagnés de sons de la série harmonique. Je prends, par exemple, un sonomètre, et je fais résonner la corde, de façon qu'elle me donne le son fondamental. Vous savez que les sons harmoniques s'obtiennent en divisant la corde en deux, trois, quatre, etc., parties (voir chapitre I), et que le son fondamental étant égal à 1, les sons harmoniques sont représentés par la série des nombres naturels 1, 2, 3, 4, etc. La sirène de Seebeck (fig. 26) sert très-bien à produire les sons harmoniques. Je mets sur l'axe de rotation un disque qui contient les séries suivantes de trous concentriques :

8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64,

qui sont dans les rapports :

1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7 : 8,

et j'obtiens ainsi les sons harmoniques du son fondamental, dans des rapports vraiment exacts. Ces sons ne doivent pas être confondus avec ceux de la gamme musicale. Ils sont, surtout les premiers, beaucoup plus distants les uns des autres. En effet du son fondamental 1 on passe à l'octave 2, puis à la quinte de l'octave 3, et à la seconde de l'octave 4; tandis que, dans la gamme musicale, les sons successifs sont notablement plus rapprochés.

Cela posé, il est facile de démontrer que, dans la corde vibrante, le son fondamental est accompagné de sons harmoniques. Avec un peu d'attention, et sans recourir aux expériences spéciales, on constate, avec le seul secours de l'oreille, la présence du troisième harmonique. Ce dernier devient surtout sensible quand le son de la corde est déjà moins fort, parce que le son fondamental s'affaiblit plus vite que le troisième harmonique, et le fait par conséquent ressortir. Le cinquième harmonique s'entend aussi facilement. Il est plus difficile d'entendre le second et le quatrième harmoniques, parce qu'ils représentent la première et la seconde octave du son fondamental et se confondent facilement avec lui.

Le même fait se produit pour les cordes du piano. En faisant résonner un son grave, par exemple un *ut*, on entend facilement l'octave du *sol*, soit le troisième harmonique, et le *mi* de l'autre octave, soit le cinquième harmonique. Les autres harmoniques s'entendent aussi, mais plus difficilement. Le septième harmonique manque, parce que les pianos sont, pour la plupart, construits de manière que le marteau frappe sur la corde presque au point qui

correspond au nœud du septième harmonique, c'est-à-dire à un septième de la longueur de la corde, ce qui empêche la formation d'un nœud en ce point.

Il se rencontre aussi des sons harmoniques dans d'autres instruments. Mais comme on réussit assez difficilement à les entendre, parce qu'ils sont, ou trop intimement associés au son fondamental, comme dans la voix humaine par exemple, ou trop faibles, on peut recourir avec grand avantage à l'emploi des résonnateurs d'Helmholtz (fig. 20).

Nous avons vu (chapitre III) que ces résonnateurs ne sont autre chose que des caisses harmoniques de forme sphérique ou cylindro-conique, qui s'adaptent à l'oreille et renforcent, chacun suivant ses dimensions, un seul son. Il suffit d'une série de résonnateurs, appropriés aux différents sons qui peuvent se produire, pour avoir ainsi un moyen très-efficace de se convaincre de la présence d'un son, même très-faible, au milieu de beaucoup d'autres. Les recherches faites sur ce sujet ont démontré que les sons provenant de divers instruments de musique ont des harmoniques différents, au moins quant au degré d'intensité.

Un son non accompagné de sons harmoniques peut être parfois doux, mais il est toujours sourd, pauvre et peu musical. C'est le cas des diapasons. Les tuyaux bouchés de l'orgue n'ont presque pas de sons harmoniques. Il en sort un son très-sombre, comparable à la voyelle *ou*, et peu agréable. Les sons harmoniques deviennent donc une condition presque nécessaire pour les sons musicaux proprement dits. Quand le son fondamental est accompagné des harmoniques plus graves, 2, 3, etc., il acquiert un caractère large, ouvert, plein. Si ce sont, au contraire, les sons harmoniques aigus qui prédominent, le son prend un caractère strident ou même criard, comme par exemple dans la trompette.

Les sons les plus riches en harmoniques sont ceux de la

voix humaine et des cordes, et c'est pour cette raison que les instruments de ce genre sont et seront toujours les plus utiles à la musique.

7. Le timbre des sons est donc constitué par la présence, en nombre et en intensité variable, des sons harmoniques qui accompagnent le son fondamental. Un son musical est toujours un son composé ; ses vibrations sont plus ou moins compliquées, et il constitue déjà à lui seul une véritable harmonie, surtout s'il n'a point le septième harmonique, qui ne fait pas partie de notre système musical. Il en résulte que, si nous combinons ensemble 2, 3 sons musicaux ou plus, pour en faire un accord, il ne suffit pas que les sons fondamentaux soient entre eux dans des rapports simples, mais il faut que les sons harmoniques se conforment aussi à cette loi. Les sons résultants, qui peuvent se former, doivent aussi rentrer dans le même système d'harmonie. Nous arrivons ainsi à formuler pour l'harmonie une loi, non-seulement plus vaste et plus générale, mais aussi plus simple, comme nous allons le voir.

En effet, supposons donné le son fondamental 1 ; les sons harmoniques seront représentés par 2, 3, 4, 5, etc., et l'ensemble par

1, 2, 3, 4, 5, etc.

Supposons maintenant l'octave, qui est représentée par 2, et ses harmoniques par les nombres doubles

2, 4, 6, 8, etc.

On voit qu'au fond l'octave ne possède aucun son nouveau. Elle ne fait que répéter quelques-uns des harmoniques du son fondamental ; par suite, en associant ensemble le son fondamental et l'octave, on n'obtient d'autre effet que de renforcer quelques-uns des harmoniques existant déjà dans le son fondamental. Le son fondamental et son octave

ne peuvent donc véritablement pas être considérés comme deux sons séparés ; leur accord constitue un son unique avec un timbre un peu modifié. Et c'est ce qui arrive en réalité pour les instruments riches en sons harmoniques, comme par exemple le violon.

Ajoutons maintenant à cet accord la quinte, qui est représentée par $\frac{3}{2}$. Les sons harmoniques seront, y compris la quinte elle-même,

$$\frac{3}{2}, 3, \frac{9}{2}, \text{etc.}$$

De ces sons, quelques-uns comme 3, 6, etc., sont compris dans le son fondamental, mais $\frac{3}{2}$, $\frac{9}{2}$, etc., sont des sons nouveaux. L'accord avec la quinte est moins parfait qu'avec l'octave. Mais nous pouvons le rendre meilleur, en adjoignant comme renfort l'octave grave du son fondamental, dont l'ensemble est représenté par

$$\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2}, 3, \text{etc.}$$

En rapportant la quinte à ce son grave, nous voyons que tous les sons figurent déjà parmi les harmoniques ; en effet $\frac{3}{2}$, $\frac{9}{2}$, etc., sont le troisième et le neuvième harmonique du fondamental $\frac{1}{2}$. De cette façon l'harmonie devient plus complète. C'est la raison pour laquelle l'accord du son fondamental avec la quinte et l'octave résonne d'une façon un peu vide et pauvre, et s'améliore notablement, quand on y ajoute l'octave grave du son fondamental.

On arrive à une conclusion analogue en ajoutant, à l'ac-

cord ci-dessous, la tierce majeure représentée avec ses harmoniques par

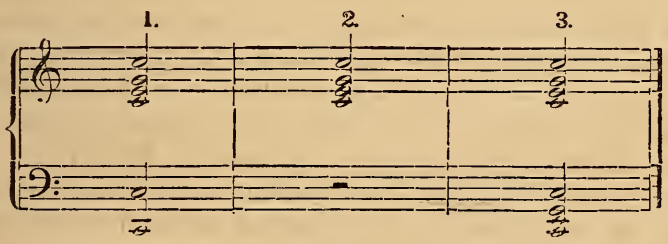
$$\frac{5}{4}, \frac{5}{2}, \frac{15}{4}, \text{ etc.}$$

Ces sons n'existent pas dans le son fondamental, mais si on ajoute encore la seconde octave grave exprimée par $\frac{1}{4}$, ils deviennent tous, bien qu'assez éloignés, les harmoniques de ce son grave.

La conclusion, c'est qu'à l'accord parfait du son fondamental, de la tierce majeure, de la quinte et de l'octave, il faut encore ajouter les deux octaves graves pour le rendre vraiment agréable.

Cette conclusion est conforme à ce que l'expérience avait enseigné depuis très-longtemps.

En effet, dans la musique pratique, cet accord s'écrit toujours comme il est indiqué sous le n° 1 et jamais comme il est indiqué sous le n° 2, ou bien le n° 3.



Il pourrait paraître étrange que, dans l'accord parfait, le son fondamental et ses octaves doivent figurer quatre fois, tandis que la tierce et la quinte n'y sont qu'une seule fois. On pourrait voir là un défaut d'équilibre entre les différents sons.

Certainement, avec les lois exposées dans les chapitres précédents, quand on parle seulement des rapports sim-

ples, une telle prépondérance du son fondamental semblerait inexplicable. La raison en devient évidente avec les considérations qui précèdent ; elle consiste en ce que, dans l'accord parfait, tous les sons existants doivent être considérés comme servant simplement à renforcer le son fondamental. Au fond, l'accord parfait est réduit à être un son isolé, très-musical et avec un timbre très-riche, très-varié.

On arrive ainsi à conclure que les accords sont d'autant plus agréables, qu'ils adjoignent moins de sons nouveaux au son fondamental ; l'accord le plus agréable de tous, l'accord parfait, n'en adjoint aucun. Cette conclusion est d'autant plus évidente que les sons, dont nous disposons, sont plus riches en harmoniques. Elle s'explique facilement aussi par la conformation de notre oreille, qui trouve un accord d'autant plus agréable, qu'elle a moins d'efforts à faire pour le comprendre.

8. Le timbre des sons n'est pas seulement constitué par les harmoniques qui, dans des proportions diverses, accompagnent le son fondamental, mais aussi par des bruits plus ou moins distincts qui proviennent du mode spécial de production du son. Une corde ébranlée par l'archet laisse toujours entendre le bruit de quelque chose qu'on frotte ; dans le bec d'un tuyau d'orgue, on entend le souffle de l'air ; dans le piano, on entend distinctement le marteau qui frappe sur la corde et ainsi de suite. Généralement, nous nous habituons, dès la première enfance, à entendre ces bruits parce que ce sont eux surtout qui nous enseignent à distinguer un instrument d'un autre, tandis que les sons harmoniques restent inaperçus, bien que beaucoup plus forts que les bruits en question.

Au fait, si les sons harmoniques qui accompagnent le son du violon, sont toujours les mêmes, sauf de très-légères différences, il n'y a là pour nous, dans la pratique de la vie, aucune raison d'analyser le phénomène ni d'examiner les proportions dans lesquelles les harmoniques figurent. C'est

pour cela que les harmoniques sont restés si longtemps inaperçus, et qu'encore aujourd'hui, beaucoup de musiciens ne les connaissent pas, ou bien les considèrent comme des phénomènes subjectifs.

Dans l'analyse notre oreille ne va pas plus loin qu'il ne lui est nécessaire ; elle obéit aussi en cela à ce qui semble être une loi fondamentale de la nature, c'est-à-dire arriver à ses fins avec le moindre effort, le travail le plus petit possible. On peut démontrer facilement, que l'oreille n'analyse pas les sons qu'elle est habituée depuis longtemps à rencontrer ensemble. Je prends ici une série de diapasons qui me donnent les sons harmoniques. Je les fais vibrer, et, au bout de quelques instants, leurs sons se mélangent tellement qu'ils simulent un son unique. Je prends maintenant un autre diapason, qui, par lui-même, forme un intervalle consonnant avec le son fondamental, par exemple le $\frac{5}{2}$, mais qui ne rentre point dans la série des harmoniques. A peine l'ai-je mis en vibration, que la présence de ce nouveau son trouble l'équilibre des sons harmoniques. L'oreille est maintenant conduite à analyser ce qu'elle entend, et elle distingue tous les sons. Par la même raison, il est très-difficile d'entendre les harmoniques de la voix humaine, quoiqu'ils soient nombreux et fortement prononcés. Il est nécessaire pour cela de recourir à des moyens d'analyse plus précis, et, à ce point de vue, les résonnateurs d'Helmholtz sont de la plus grande utilité. Mais je vais montrer en même temps un instrument fondé sur l'emploi des résonnateurs, et construit par Kœnig de façon à rendre le phénomène visible même à un nombreux auditoire.

9. L'appareil (fig. 36) est formé de huit résonnateurs, accordés pour la série harmonique du son fondamental *ut*. En arrière de chacun d'eux, un tube de gomme élastique met en communication l'orifice avec une capsule fermée

par une membrane élastique. En avant de celle-ci arrive le gaz qui brûle avec une petite flamme très-mobile; aux huit résonnateurs correspondent donc huit flammes. Quand l'air vibre dans l'un d'eux, les vibrations se communiquent à la

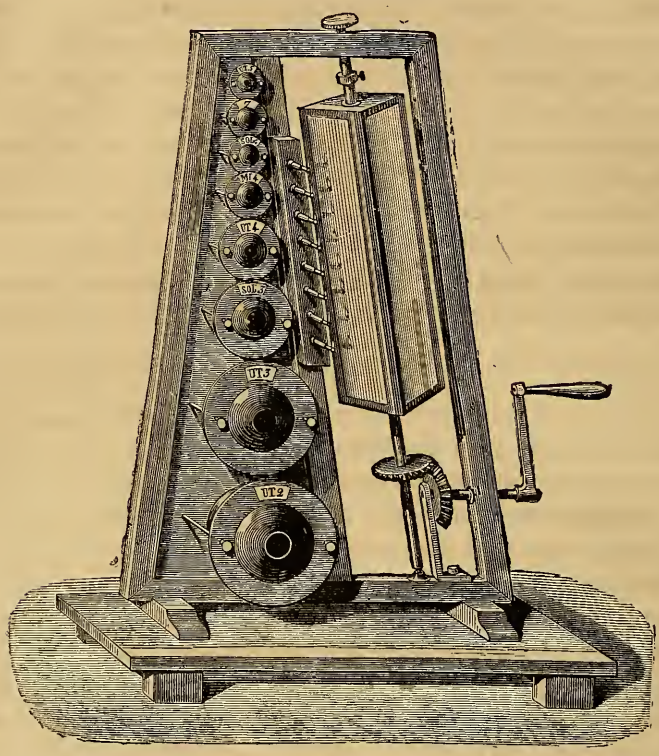


Fig. 36.

flamme, et les vibrations de cette dernière s'observent, nous l'avons vu dans le premier chapitre, comme au moyen d'un miroir tournant qu'une manivelle fait mouvoir. Donc, pour savoir si le son d'un instrument donné ou de la voix humaine contient des sons harmoniques, et quels ils sont, il suffit de

produire, dans le voisinage de l'appareil, un son correspondant par la hauteur au plus grand résonnateur, c'est-à-dire à l'*ut* fondamental. Alors, s'il y a des harmoniques, ils mettent en mouvement les résonnateurs, ainsi que les flammes correspondantes, et un coup d'œil sur le miroir tournant suffit pour les faire immédiatement reconnaître.

Avec cet ingénieux instrument, on peut démontrer que tous les instruments de musique ont des sons harmoniques, et on voit immédiatement quels ils sont. Il en est de même de la voix humaine, très-riche en sons de ce genre. Il suffit, en effet, de faire chanter un *ut* dans le voisinage de l'instrument, pour voir entrer plusieurs flammes en vibrations. Mais, suivant en cela l'exemple d'Helmholtz, je vais démontrer que les diverses voyelles prononcées, quand on chante une note, donnent des harmoniques différents. Pour le prouver, je fais chanter la note fondamentale et, en même temps, prononcer successivement les diverses voyelles. On observe ainsi facilement les sons harmoniques qui accompagnent, dans des proportions diverses, le son fondamental dans le cas des différentes voyelles.

On obtient les résultats suivants :

La voyelle *ou* est constituée par le son fondamental très-fort et par le troisième harmonique assez prononcé.

L'*o* contient le son fondamental, le second harmonique très-fort, le troisième et le quatrième faibles.

La voyelle *a* contient, outre le son fondamental, le second harmonique faible, le troisième fort, le quatrième faible.

L'*e* a le son fondamental faible, le second plutôt faible, le troisième très-faible; au contraire, le quatrième est très-fort; le cinquième est faible.

L'*i* a les harmoniques élevés, et, spécialement, le cinquième très-prononcé.

Ces différences qui s'observent facilement proviennent de la forme que prennent la bouche, la langue et les lèvres

pour prononcer les diverses voyelles. Ce ne sont pas toujours les mêmes, parce qu'elles dépendent du timbre de la voix qui les prononce, du caractère spécial de la langue que l'on parle, et en outre de la hauteur du son pris pour son fondamental. Ce dernier fait se comprend, quand on considère que la bouche fonctionne elle-même comme résonnateur de forme et de grandeur variables. Les résultats sont donc complexes; je me borne à les indiquer.

Mais, s'il est vrai que le timbre des voyelles est constitué comme je l'ai sommairement indiqué, il faut pouvoir reproduire par synthèse les différentes voyelles, en combinant le son fondamental et les harmoniques dans la mesure voulue. Cette idée a été réalisée par Helmholtz qui s'est servi pour cela de tuyaux d'orgue bouchés qui donnent chacun des sons sensiblement simples. Il les a distribués suivant la série harmonique, et en les combinant ensemble de la façon indiquée ci-dessus, il a réussi à faire *dire*, au tuyau du son fondamental, les diverses voyelles d'une manière nettement prononcée. La démonstration est donc complète, et constitue certainement un des grands triomphes de la science.

CHAPITRE IX

LES ÉCOLES MUSICALES

1. Différence entre la science et l'art. — 2. Musique italienne et allemande. — 3 et 4. Différence des deux écoles. — 5. Influence de Paris. — 6. Conclusion.

1. Les lois du timbre sont fondamentales pour la théorie de l'instrumentation, et embrassent aussi l'harmonie tout entière. Grâce à elles, tout ce que nous avons exposé jusqu'à présent se réduit à un seul principe : *les notes musicales doivent satisfaire aux lois de l'harmonie, et celle-ci est d'autant plus parfaite que les divers sons d'un accord renforcent davantage le son fondamental.* Ainsi le concept de la tonique et de l'accord fondamental perd son caractère d'utilité purement pratique ; il en devient une conséquence nécessaire.

La science est arrivée à embrasser, sous un point de vue unique, ce grand et admirable assemblage de faits qui forme l'histoire et le développement de la musique. Elle est à même de déduire régulièrement les règles de l'art musical, et pourrait facilement les créer une seconde fois, si par hasard elles venaient à se perdre.

Mais il ne faudrait pas que ces paroles fissent naître en vous l'idée que la science veuille ou puisse remplacer l'art. Dans l'art il y a une chose qui défie tout calcul, que la science peut bien expliquer jusqu'à un certain point quand elle a pris une forme palpable, mais qu'elle ne peut ni pré-

dire ni modifier : c'est l'inspiration poétique. Comme la plus profonde connaissance de la grammaire, de la syntaxe et de la métrique ne suffit pas pour faire une poésie même médiocre, de même l'étude la plus approfondie des lois de l'harmonie et de l'instrumentation ne suffira jamais à créer un compositeur. La composition et la critique sont deux opérations de l'esprit humain diamétralement opposées ; elles doivent se donner la main, procéder d'un commun accord, autant que possible, et se compléter réciproquement ; mais le critique ne sera jamais un grand compositeur, ni le compositeur un vrai critique.

Si j'ai cherché à passer rapidement en revue les faits les plus importants de l'histoire musicale, c'était seulement pour montrer comment les créations les plus fantastiques de l'homme obéissent à certaines lois simples que la science nous a révélées.

Ces lois n'étaient certainement pas connues des grands hommes de génie qui nous ont laissé dans leurs œuvres des enseignements impérissables. Ils étaient uniquement guidés par le sentiment, l'imagination, l'inspiration dans la voie qu'ils ont parcourue. La science est venue après, et n'a pas fait autre chose que d'apporter la lumière. Il en sera toujours de même dans l'avenir. Il ne nous entrera jamais dans l'esprit de pronostiquer ce que sera la musique dans cinquante ou cent ans, ni de dire si, au point de vue esthétique, elle se trouvera sur la branche ascendante ou descendante de la parabole ; d'autant que les principes esthétiques auxquels l'art s'est successivement conformé n'ont pas de valeur absolue. Mais nous pouvons dire avec certitude qu'on n'acceptera jamais rien de contraire aux principes larges établis maintenant par la science.

Je ne veux pas abandonner ce sujet intéressant, sans toucher encore à quelques questions fort agitées dans ces derniers temps, et qui appartiennent au patrimoine artistique de l'Europe moderne.

2. On parle beaucoup de la grande et substantielle différence entre la musique italienne et la musique allemande. On traite la première de simple, intelligible, mélodieuse; la seconde de compliquée, étudiée, obscure, transcendantale. On veut trouver là un des traits caractéristiques de la différence entre les deux nations. Il est vrai qu'au siècle dernier et dans celui-ci, la musique italienne a cultivé de préférence la mélodie et le chant; il est vrai d'autre part que, dans la musique allemande, l'étude de l'harmonie, des masses chorales et instrumentales a été portée à un degré de perfection admirable. Mais il n'est pas vrai qu'il en ait toujours été ainsi, et ce serait une grande erreur de vouloir y trouver un caractère distinctif des deux nations.

Au moyen-âge, c'était précisément le contraire. Les premiers siècles de la musique polyphonique sont remarquables en Italie par une complication immense. Des parties reliées avec un artifice extrême, des chants différents associés ensemble avec des règles très-compliquées et peu claires, tel est le caractère de la musique polyphonique jusqu'au temps de Palestrina. La réforme protestante a créé en Allemagne les harmonies simples, les chants larges, la musique claire, facile, transparente. Il n'y a pas de comparaison possible, quant à la simplicité, entre les premiers chants protestants et la musique de Palestrina lui-même, qui fut pourtant le grand réformateur et le grand simplificateur de la musique polyphonique italienne.

Depuis cette époque, en ce qui touche au style, les deux nations ont suivi à peu près la même voie. L'Italie prit décidément l'avance, grâce à l'énorme activité musicale dont elle fit preuve, et au nombre considérable de ses génies créateurs. Depuis ce moment le progrès fut rapide et continu. Viadana écrivit les premières mélodies et y adjoignit, comme accompagnement, la basse continue; Carissimi et Scarlatti peuvent être considérés comme les inventeurs du récitatif d'expression. A ce dernier compositeur, véritable génie mu-

sical, revient l'invention de l'air, qui, avec sa première et sa seconde partie et les reprises, représente peut-être dans la musique, ce que la colonne représente dans l'architecture. Dans ses tentatives d'opéra, il introduisit le récitatif obligé, et commença ainsi la transition du premier au second style italien, transition que ses grands disciples et rivaux Durante, Leo, Greco, opérèrent entièrement. Grâce à leurs efforts, la musique perdit son caractère de grande sévérité, et ses règles rigides d'harmonie et de contre-point. En leurs mains et dans celles du hardi novateur Claudio Monteverde, elle prit au contraire un développement instrumental plus considérable, avec des chants plus largement et plus librement traités, des accompagnements plus simples, des allures plus libres. A la marche austère furent substitués des sentiments clairs, simples, ingénus. Beauté plastique, mesure juste, maintenue avec grâce et discernement au milieu de chants très-beaux, voilà le caractère que la musique prit au XVIIe siècle : caractère qui se rencontre spécialement dans la musique d'église, moins dans l'opéra où la forme resta encore très-primitive, malgré tous les efforts.

Ce mouvement se continue aussi au XVIIIe siècle. A côté de la musique d'église, l'opéra se développe de plus en plus, et à l'histoire de ce mouvement restent attachés les noms de Pergolèse, Piccini, Sacchini, Jomelli, Cimarosa, Paesiello. Cette activité créatrice se communique aussi à l'Allemagne, où elle prend une nouvelle forme et un nouveau développement. Des hommes comme Haendel, Haydn, Bach, Gluck, Mozart, donnèrent à la musique une largeur d'idées merveilleuse. Mais, sauf Gluck, ils doivent être considérés comme les féconds et sublimes continuateurs du mouvement italien, mouvement qui se produisit dans des directions peu différentes des nôtres. Pour se convaincre du peu de distance qui séparait les deux écoles, il suffit de comparer le *Matrimonio segreto* de Cimarosa et les *Nozze di Figaro* de Mozart. On dirait deux œuvres issues de la même école

et composées par deux frères, l'une plus facile, plus brillante, plus élégante; la seconde, plus large, plus riche, plus profonde.

La séparation entre la musique allemande et la musique italienne s'accentua surtout dans l'œuvre de Gluck et de Beethoven d'un côté, et celle de Rossini de l'autre. Pendant que les deux écoles restaient, jusqu'à la moitié du dernier siècle, peu différentes l'une de l'autre; pendant que les deux musiques se ressemblaient, la partie d'exécution prit en Italie une voie différente. Le dernier siècle est le siècle du grand chant italien. L'Italie étonna le monde par le nombre des chanteurs remarquables qu'elle enfanta, et par la méthode sérieuse et sûre avec laquelle les écoles du chant étaient organisées.

Ces chanteurs parcoururent l'Europe, volant de triomphe en triomphe, fêtés partout et adulés d'une façon presque incroyable. Mais c'est précisément la grande importance que prit l'école italienne du chant, qui devait être la cause de sa décadence intrinsèque. Les chanteurs commencèrent à se considérer comme l'élément principal, et comme la pierre angulaire sur laquelle reposait la grandeur de la musique italienne. Pour eux le morceau devint un prétexte à briller le plus possible. Il arriva que, la musique étant trop simple pour leur offrir l'occasion de briller, ils substituèrent aux mélodies simples des airs plus compliqués, y intercalant trilles et *gruppetti*, cadences et fioritures de tout genre, au préjudice manifeste du compositeur et du bon goût musical. Les grands maîtres d'alors subirent cet état de choses, impuissants à y remédier. Vint Rossini qui pensa qu'il valait mieux écrire soi-même des mélodies compliquées de gammes, de cadences et de difficultés de tout genre, parce qu'ainsi on pouvait au moins sauver le bon goût en partie. Il fit comme certains politiques qui se mettent à la tête du mouvement pour mieux pouvoir le dominer.

La richesse et la variété des formes sont admirables chez lui ; mais il est évident que la véritable pensée musicale devait souffrir sous ces trilles et ces gargouillades perpétuelles. Il y a un seul genre auquel cette forme légère et si variée peut s'adapter, c'est l'opéra bouffe. A ce point de vue Rossini nous a laissé, dans le *Barbier de Séville*, un modèle impérissable de grâce et de fraîcheur. Pour l'opéra sérieux, Rossini abandonna presque complétement, dans ses dernières œuvres, cette manière d'écrire. Son dernier opéra, *Guillaume Tell*, est entièrement privé de fioritures, et il s'élève dans certaines parties, par exemple dans le trio et la conjuration du second acte, à une hauteur incomparable.

Mais cette manière plus châtiée et plus correcte de Rossini s'est produite hors de l'Italie, sous l'empire de tendances et d'idées différentes de celles qui y régnaient. En Italie l'impulsion donnée ne pouvait plus être facilement enrayée. La musique prit sous ses successeurs les plus importants, comme Bellini et Donizetti, le caractère d'un chant simple, parfois profond, émouvant, souvent léger, superficiel et douceâtre. L'impression qu'a produite et que produit encore l'auteur de la *Norma* avec ses chants magnifiques et profondément sensibles, l'intérêt que nous inspire Donizetti par l'élégance du style dans ses meilleurs ouvrages, ne doivent pourtant pas nous faire oublier que le chant ne s'adaptait plus aux conditions du théâtre moderne. Sauf de nombreuses et belles exceptions, le sentimentalisme prit la place du vrai sentiment ; l'expression dramatique fut en grande partie négligée ; parfois même on ne se donnait pas la peine de la chercher. Verdi comprit que le chant continu aurait fini par corrompre les âmes. Au beau chant il substitua le mouvement qui n'était pas encore le sentiment dramatique, mais qui avait de la force et de la vigueur, bien que parfois de forme rude. Cette manière d'écrire se trouva vaguement d'accord avec les

aspirations nationales. L'Italie renaissait alors à une vie nouvelle; elle avait besoin de mouvement et d'émotions fortes. Le patriotisme s'empara de la musique à la Verdi, la rendit extrêmement populaire, en usa et en abusa largement. Mais le bon goût et les écoles de chant en souffrirent énormément. Dans ces derniers temps, Verdi a modifié notablement sa manière, et il tend ouvertement à se rapprocher de la musique allemande, ou au moins à diminuer la grande distance qui sépare aujourd'hui les deux écoles. De *Nabucco* et d'*Ernani* à *Rigoletto* et au *Ballo in maschera*, puis à *Aïda*, le progrès a été continu dans cette voie. Les exemples, d'ailleurs très-connus, sont discutés partout avec intérêt et passion.

4. Avant que le mouvement progressif s'opérât en Italie, l'Allemagne avait marché de son côté. Gluck introduisit et développa admirablement le concept de la musique dramatique, qui se propose de mieux adapter la musique aux paroles et de créer musicalement une œuvre d'art capable de produire sur les auditeurs les mêmes sensations que le texte. A ce point de vue, la musique est une mine inépuisable d'effets vraiment artistiques. Elle surpasse par beaucoup de côtés la poésie, tant dans l'expression du terrible que dans celle des sentiments vraiment gracieux.

Pour s'en convaincre, il suffit de rappeler, parmi les choses modernes, la scène d'amour entre Faust et Marguerite, décrite musicalement par Gounod, pour conclure non-seulement que la grande poésie de Gœthe n'a pas souffert, mais que l'effet s'est plutôt modifié et idéalisé, loin d'être diminué. Il suffit de rappeler encore le duo entre Raoul et Valentine dans *les Huguenots*, où toutes les sensations, du patriotisme à l'amour, de l'amour à la terreur, sont décrites avec une vivacité, un sentiment incomparables, qui touchent si profondément malgré quelques exagérations; enfin la terrible scène du *Freischütz* de Weber, où la terreur est portée au plus haut degré de l'expression musicale. La

musique qui, sous beaucoup de rapports, reste inférieure à la poésie, se montre supérieure à elle sous d'autres points de vue, où l'effet dramatique et le sentiment sont profondément accentués.

Un pas encore plus grand a été fait par Beethoven, le grand, le vrai créateur de la musique instrumentale moderne. Depuis cette époque l'école allemande s'est toujours éloignée de plus en plus de la route parcourue en commun avec l'école italienne. Mendelssohn, Schumann, et enfin Wagner forment une progression dans cette voie . La musique a toujours pris de plus en plus le caractère instrumental, et le chant libre a été négligé. Pour nous servir d'une phrase devenue célèbre, et peut-être exagérée, mais qui dépeint vivement l'état actuel des choses, nous dirons que, dans la musique italienne, l'orchestre était devenu une grande guitare destinée à accompagner le chant; mais on peut dire en revanche que, dans la musique allemande, les chanteurs étaient devenus des instruments d'orchestre ambulants. Il faut pourtant convenir que, tandis que dans notre siècle la musique italienne penchait vers une décadence sensible, en Allemagne l'art se maintint à un niveau élevé. L'étude de l'harmonie et des grands mouvements de l'orchestre, le sentiment profond et l'expression dramatique, malgré quelques exagérations trop réalistes et des recherches de peu de valeur, ont été portés à un haut degré de perfection par l'impulsion du génie de Wagner. Si les livrets, presque toujours stupides et médiocrement favorables à la composition, ont cédé la place à une poésie plus mâle et plus indépendante, c'est à lui qu'on le doit; l'union plus étroite de la poésie et de la musique, où les deux arts cheminent du même pas, sans que l'un opprime l'autre, c'est là peut-être le caractère le plus saillant et le plus beau de sa musique, qui se maintient presque toujours à une grande hauteur, avec de grandes richesses d'harmonie, en vous transportant dans une sphère idéale.

Je dis cela, malgré le bruit qui, au-delà comme en deçà des Alpes, s'est élevé contre la *musique de l'avenir*. On lui reproche d'être trop étudiée et recherchée, de s'adresser, non au sentiment, mais au calcul et à la combinaison. Mais il suffit de l'écouter avec attention et sans parti-pris, pour se convaincre qu'elle renferme de grandes et de nombreuses beautés. L'ouverture de *Lohengrin*, le chant de Lohengrin au cygne, beaucoup de passages du *Tannhœuser* et d'autres encore prouvent bien le contraire. Cette musique a eu le grand et triste privilége de susciter des passions presque incroyables *pour* et *contre*. Mais, quand ces passions se seront calmées, je crois qu'on ne pourra refuser à ces compositions le caractère d'un grand poëme musical, dont les limites s'étendent beaucoup au-delà du milieu national pour lequel il a été écrit.

5. En finissant, nous devons tenir compte d'un troisième facteur important dans l'histoire de la musique : c'est l'influence exercée par Paris sur la marche des idées musicales. Si l'on excepte l'opéra-comique, qu'il ne faut pas confondre avec l'opéra-bouffe italien et dans lequel excellèrent Grétry, Boïeldieu, Hérold, Auber et autres, on peut dire que les Français n'ont pas été vraiment créateurs en musique. Malgré cela, l'influence de Paris a été grande et incontestable dans l'histoire de l'art. Placé, pour ainsi dire, à égale distance des deux nations musicales, Paris est devenu, grâce aux splendeurs de la vie parisienne, et à l'entraînement pour les plaisirs, un des centres importants où se débattent de graves et de nombreux problèmes musicaux. C'est là que s'engagea la lutte de la musique sévère de Gluck contre la musique mélodieuse de Piccini. C'est là que l'Italien Chérubini trouva, avec ses tendances musicales allemandes, une place très-honorable. C'est là que Meyerbeer abandonna son premier style et composa *Robert-le-Diable*, *les Huguenots* et le *Prophète* qui, par la grandeur des idées, rendront sa mémoire impérissable. C'est là enfin que nos

plus grands maîtres sont allés chercher des juges compétents et ont changé leur style. *Guillaume Tell*, de Rossini, *la Favorite* et *don Sébastien* de Donizetti, enfin plusieurs œuvres de Verdi sont nés de cette façon. L'influence de Paris peut se définir ainsi : insister pour la création d'un type musical qui contienne les qualités des deux écoles italienne et allemande sans leurs exagérations. Cette école est donc éminemment éclectique, et elle a trouvé la solution de ses problèmes en s'appuyant fortement sur la base de la musique dramatique. Elle a maintenu ainsi l'air et le chant italiens, mais limités aux cas où ils sont compatibles avec l'expression dramatique . Elle a adopté les masses chorales et les mouvements d'orchestre de l'Allemagne, en leur donnant une importance convenable. Enfin elle a cherché à établir un rapport intime entre les paroles et la musique avec le désir, plus exprimé que réalisé, de ne subordonner ni l'un ni l'autre de ces deux éléments.

Le caractère de cette école se retrouve dans les compositions des auteurs français, qui ont écrit des œuvres dramatiques. Halévy, Gounod, Auber lui-même, dans sa *Muette de Portici*, ont suivi cette voie. Quoi qu'on pense en général des choses éclectiques, l'éclectisme de l'école de Paris a eu une véritable importance; il doit être considéré comme une tentative très-sérieuse, et en partie réussie, de réunir sous un point de vue commun deux écoles où les tendances étaient très-différentes. De cette tentative sont issues de nobles idées et des œuvres grandioses, qui exerceront aussi sur l'avenir une grande et véritable influence.

6. Quant à l'avenir même, il n'appartient pas à la critique musicale, pas plus qu'à la critique scientifique, d'en prévoir les tendances. Nous nous garderons donc d'émettre une opinion sous ce rapport. Ce qu'il nous importait de démontrer, c'était que la musique s'est développée suivant des règles dépendant de lois naturelles jadis inconnues et aujourd'hui découvertes; qu'elle ne pourra jamais s'en

éloigner, et qu'entre les limites de ces lois, il y a un champ très-vaste ouvert à tous les efforts de l'imagination humaine. Il importait en outre de démontrer que beaucoup de jugements, qui courent en Italie et au dehors, sur la valeur de telle ou telle école, de tel ou tel maître, sont pour la plupart inexacts, parce que la véritable culture musicale est négligée en Italie.

Nous considérons comme indispensable à notre culture littéraire de connaître, non-seulement les auteurs modernes, mais aussi les auteurs de tous les temps et de toutes les nations. Mais, au point de vue musical, à très-peu d'exceptions près, nous ne connaissons que les auteurs de ce siècle, et jusqu'à ces derniers temps, nous ne connaissions que les seuls Italiens. C'est une indigence d'idées et de connaissances qui ne peut pas et ne doit pas durer, parce qu'elle amènerait infailliblement la décadence musicale de la nation.

Ce fait nous paraît si grave que nous devons insister de toutes nos forces sur la nécessité d'y porter un prompt remède. Nous ne pouvons comprendre comment des villes, dont un grand nombre dépensent des sommes considérables pour les théâtres, ne consacrent pas cet argent à favoriser et accroître la culture musicale du pays, plutôt qu'à divertir les masses par des spectacles souvent ineptes et sans aucun sens. Nous croyons donc de notre devoir d'appeler l'attention publique sur cette grave lacune de l'éducation populaire, en remarquant que le théâtre subventionné doit être un lieu d'enseignement et non pas seulement de plaisir. Ce n'est pas notre tâche d'indiquer comment on peut atteindre ce noble but, et surtout ce ne serait pas le moment d'étudier une question semblable. Mais nous n'avons pas besoin de dire que le problème n'est ni difficile ni compliqué et que, la question une fois posée, on trouvera certainement des hommes capables de la résoudre d'une manière satisfaisante.

CAUSES PHYSIOLOGIQUES

DE

L'HARMONIE MUSICALE

Conférence faite à Bonn par M. Helmholtz.

Messieurs,

Il m'a semblé que dans la ville natale du plus puissant héros de l'art musical, de Beethoven, je ne pouvais choisir de sujet plus convenable, pour une conférence, que la musique. Je vais donc essayer de vous exposer ce que la physique et la physiologie nous apprennent sur l'art le plus populaire des bords du Rhin, sur la musique et les rapports musicaux ; je suivrai ainsi, du reste, la direction de mes derniers travaux.

Jusqu'ici la musique a échappé plus que les autres arts à l'étude scientifique. La poésie, la peinture et la sculpture puisent leurs sujets dans le monde de l'expérience ; elles représentent la nature et l'homme. Ces arts prêtent donc à la critique par leurs sujets : on peut les examiner au point de vue de leur justesse et de leur exactitude naturelle ; il y a plus, quoi qu'en disent certaines personnes enthousiastes, la critique scientifique a fait bien des progrès dans la recherche des causes de la jouissance esthétique que nous

font éprouver les œuvres d'art. En fait de musique, au contraire, il paraît jusqu'ici que la vérité est du côté de ceux qui repoussent la « dissection critique de leurs plaisirs. » Cet art, qui ne puise pas ses matériaux dans l'expérience des sens, qui ne veut pas décrire le monde extérieur, et ne cherche qu'exceptionnellement à l'imiter, ne donne pas prise à l'examen scientifique autant que les autres arts, et paraît aussi incompréhensible, aussi merveilleux que puissant dans ses effets. Nous nous bornerons donc à l'étude de son matériel artistique, à l'étude des sons ou des sensations musicales. Je me suis toujours senti attiré par la mystérieuse union des mathématiques et de la musique, par l'application de la science la plus abstraite et la plus logique à l'étude des sons, aux bases physiques et physiologiques de la musique, de tous les arts le plus immatériel, le plus vaporeux, le plus délicat, celui qui nous fait éprouver les sensations les plus incalculables et les plus indéfinissables. La basse fondamentale est une espèce d'application des mathématiques ; dans les intervalles musicaux, dans la gamme, etc., les rapports de nombres entiers — quelquefois même de logarithmes — jouent un rôle important. Les mathématiques et la musique, les deux modes d'activité intellectuelle les plus opposés qu'on puisse imaginer, ont une liaison intime, se secourent mutuellement, comme si elles devaient prouver la liaison mystérieuse qui apparaît dans toutes les manifestations de notre esprit, et qui nous fait soupçonner, jusque dans les œuvres du génie artistique, l'action cachée d'une intelligence qui raisonne.

En examinant l'acoustique physique au point de vue de la physiologie, c'est-à-dire en étudiant le rôle que joue l'oreille dans la perception des sons, j'ai pu rendre compte, un peu mieux qu'on ne l'avait fait, des rapports qui existent entre certains phénomènes. Je vais essayer de vous inspirer pour ces questions une partie de l'intérêt qu'elles ont excité en moi ; pour cela, je chercherai à vous faire

comprendre quelques-uns des phénomènes de l'acoustique physique et physiologique.

Limité par le temps, je suis forcé de me restreindre à un point capital ; je choisirai le plus important de tous, celui qui vous montrera le mieux de quelle importance sont les résultats des recherches scientifiques dans ce domaine : je veux parler de la base de la consonnance. L'expérience a démontré que les nombres de vibrations correspondant à deux sons consonnants sont toujours petits et dans un rapport très-simple. Mais pourquoi ? Qu'est-ce que ces rapports de nombres entiers très-petits ont de commun avec la consonnance ? C'est là une vieille énigme, que Pythagore déjà a léguée à l'humanité et qui est restée indéchiffrable jusqu'ici. Voyons si, à l'aide des richesses de la science moderne, nous trouverons le mot de cette énigme.

Avant tout, qu'est-ce qu'un son ? L'expérience la plus vulgaire nous apprend que tous les corps sonores vibrent. Nous les voyons, nous les sentons vibrer ; lorsque le son est fort, nous sentons, même sans toucher le corps sonore, le mouvement de l'air ambiant. La physique nous montre, d'une manière plus spéciale, qu'une série de pulsations suffisamment rapides, faisant vibrer l'air, y produisent un son.

Le son devient *musical* lorsque ces pulsations rapides se succèdent très-régulièrement à des intervalles de temps parfaitement égaux ; des ébranlements irréguliers de l'air ne produisent que du bruit. La *hauteur* d'un son musical dépend du nombre de pulsations qui se succèdent dans un temps déterminé ; plus il y a de vibrations dans le même temps, plus le son est élevé. On voit ici se dessiner le rapport intime qui existe entre les intervalles musicaux harmoniques et le nombre de vibrations de l'air. Lorsqu'un son correspond à deux fois plus de vibrations qu'un autre son pendant le même temps, il est l'octave supérieure de ce dernier. Si le rapport des vibrations dans le même temps

est de 2 à 3, les deux sons forment une quinte ; ce rapport est-il de 4 à 5, les deux sons forment une tierce majeure.

Remarquez que les nombres de vibrations correspondant aux sons de l'accord parfait majeur, *ut, mi, sol*, ut_1, sont entre eux comme les nombres 4 : 5 : 6 : 8 ; en prenant chacun de ces sons comme base d'un accord parfait dont les sons présentent les mêmes rapports de vibrations, vous pouvez déduire de ces quatre sons tous les rapports musicaux. En faisant les calculs basés sur cette règle, on trouve que les nombres de vibrations correspondant aux sons perceptibles sont excessivement variés. L'octave supérieure d'un son fait deux fois plus de vibrations que le son fondamental, la deuxième octave en fait quatre fois plus, la troisième en fait huit fois plus. Nos nouveaux pianos embrassent sept octaves ; leur son le plus élevé fait donc 128 vibrations pendant que le son le plus bas en exécute une seule.

L'*ut* le plus bas de nos pianos, celui que donnent les tuyaux d'orgue ouverts, de 16 pieds, — l'octave inférieure de l'*ut* le plus bas des voix humaines, — fait 33 vibrations par seconde. Il est voisin de la limite des sons perceptibles. Vous avez sans doute remarqué que ces notes du piano ont un son mat et mauvais ; on ne peut plus juger facilement de leur hauteur ou de leur pureté. L'*ut* correspondant des jeux d'orgue est un peu plus vigoureux, mais l'oreille est encore incertaine sur la hauteur musicale du son. Dans les grands jeux d'orgue, il y a une octave entière au-dessous de cet *ut*, jusqu'à la double octave de l'*ut* de la basse, qui ne fait plus que 16 vibrations et demie par seconde, et qui est donné par un tuyau ouvert de 32 pieds. Mais l'oreille ne perçoit plus guère ces sons que comme une espèce de bourdonnement ; plus ils sont bas, mieux elle y distingue les pulsations successives de l'air. Aussi ne s'en sert-on en musique que pour renforcer les sons des octaves immédiatement supérieures, auxquels ils communiquent une expression de grande profondeur.

A l'exception de l'orgue, tous les instruments de musique restent, pour les sons bas, dans les mêmes limites que le piano, non pas qu'il soit impossible de produire des vibrations plus lentes suffisamment fortes, mais parce que l'oreille s'y refuse et perçoit les vibrations trop lentes, comme des vibrations successives, et non plus comme un son.

Le physicien français Savart a prétendu, à diverses reprises, qu'il avait pu, à l'aide d'un instrument d'une construction particulière, percevoir un son produit par 8 vibrations par seconde; cette assertion doit reposer sur une erreur.

Nos pianos peuvent embrasser, en hauteur, sept octaves, à partir de l'octave inférieure de l'*ut* de la basse, c'est-à-dire jusqu'à l'ut_7, qui correspond à 4224 vibrations par seconde. La petite flûte, dont on se sert dans les orchestres, peut donner le même son, ou même un son plus élevé encore. Le violon ne donne ordinairement pas de son supérieur au mi_6, à 2640 vibrations par seconde; je ne parle pas des effets produits par certains virtuoses échevelés qui cherchent volontiers, dans les notes élevées, des motifs capables de donner à leurs auditeurs des maux de cœur inouïs. Il y a d'ailleurs, pour tenter ce genre d'artistes, au-dessus de l'ut'_7, trois octaves entières de sons perceptibles qui impressionnent l'oreille de la manière la plus désagréable. M. Despretz a pu entendre ut_{10} faisant 32770 vibrations par seconde; il produisait ce son en frottant avec un archet un diapason très-petit. Ces sons paraissaient atteindre les limites de la perception, et dans ces dernières octaves on ne pouvait plus distinguer les intervalles.

La hauteur musicale du son ne dépend que du nombre de vibrations de l'air par seconde, et non de la manière dont elles sont produites. Il est indifférent qu'elles résultent des vibrations des cordes du piano ou du violon, des cordes vocales du larynx humain, des languettes métalliques de

l'harmonica, de l'anche de la clarinette, du hautbois et du basson, des lèvres du musicien dans les instruments de cuivre, ou de l'air se brisant sur le biseau des tuyaux d'orgue et de la flûte.

Ainsi, quel que soit l'instrument qui le produise, un son a toujours la même hauteur lorsqu'il résulte d'un même nombre de vibrations. Ce qui nous permet de distinguer la note *la* du piano de la même note *la* du violon, de la flûte, de la clarinette, de la trompette, est ce que l'on appelle le *timbre ;* nous reviendrons plus loin sur cette qualité du son.

Pour vous faire comprendre les principes que je viens de vous exposer, je vais vous décrire un appareil de physique très-intéressant, la *sirène* (fig. 37). Cet instrument est destiné à la détermination de tout ce qui se rapporte aux nombres de vibrations.

Pour faire parler cet instrument, on met les deux tubes g_0 et g_1 en communication avec une soufflerie ; l'air pénètre dans les deux réservoirs cylindriques ou porte-vent a_0 et a_1, et s'échappe par les trous percés dans les couvercles c_0 et c_1 de ces réservoirs. L'air ne peut pas s'échapper directement par ces trous ; immédiatement devant les couvercles des deux porte-vent se trouvent deux disques percés de la même manière et fixés sur un axe très-mobile k. La figure vous montre, en c_0, le disque percé de trous ; immédiatement au-dessous de lui se trouve le couvercle des réservoirs. Le porte-vent supérieur c_1 ne laisse voir que le bord du disque. Lorsque les trous du disque se trouvent exactement vis-à-vis des trous du couvercle, l'air peut sortir librement. Mais si le disque est déplacé de telle façon que des parties pleines correspondent aux trous du couvercle, l'air ne peut s'échapper. Si maintenant nous faisons tourner rapidement les disques, les trous de sortie de l'air sont alternativement ouverts et fermés : pendant l'ouverture l'air s'échappe ; pendant la fermeture il est retenu ; et ainsi

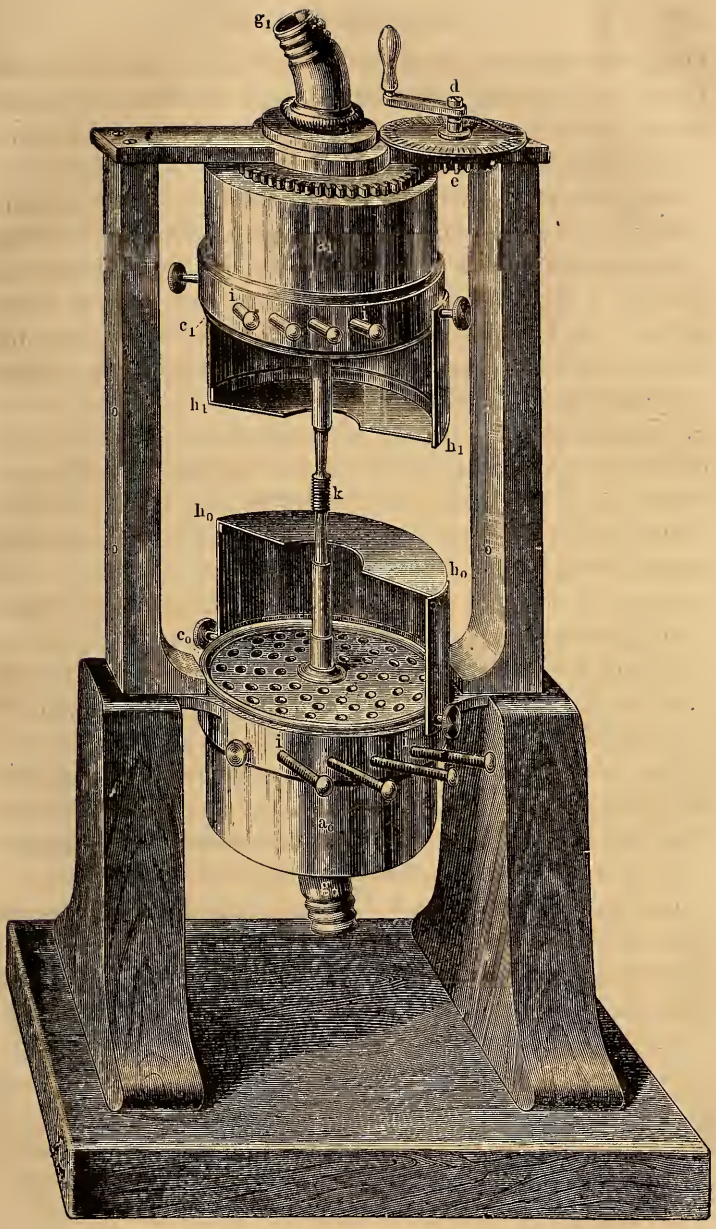


Fig 37.

le courant continu fourni par la soufflerie se trouve transformé en une série de pulsations qui se réunissent pour donner un son lorsqu'elles se succèdent assez rapidement.

Cet appareil, un peu plus compliqué que les instruments de ce genre construits jusqu'ici [1], permet d'obtenir un plus grand nombre de combinaisons musicales. Chacun des deux disques porte quatre séries de trous : le disque inférieur, des séries de 8, 10, 12, 18 trous ; le disque supérieur, des séries de 9, 12, 15 et 16. Les séries d'orifices disposés sur les couvercles des porte-vent sont identiques avec celles des disques. Au-dessous de chacune de ces séries se trouve un anneau percé de trous ; des boutons *i*, *i*, *i*, *i*, permettent de les placer de manière à intercepter ou à élever à volonté la communication entre les orifices du couvercle et l'intérieur du réservoir à vis. On peut ainsi faire fonctionner une seule des huit séries de trous, ou bien en réunir deux ou trois, et produire les combinaisons les plus variées par les déplacements des boutons *i*, *i*.

$h_0 h_0$ et $h_1 h_1$ sont les moitiés de deux boîtes qu'on peut fixer au-dessus des deux disques, et qui servent à adoucir par leur résonnance les sons trop rudes.

Les orifices des disques et des couvercles sont percés obliquement, de sorte que si l'on ouvre une ou plusieurs séries, l'air fourni par la soufflerie communique aux disques des mouvements de plus en plus rapides.

Lorsqu'on commence à faire marcher la soufflerie, on entend les impulsions successives de l'air sortant par bouffées chaque fois que les trous du disque passent devant ceux de la boîte. Ces pulsations se succèdent de plus en

1. La sirène double, imaginée par M. Helmholtz et construite par M. R. Kœnig, notre habile acousticien, se prête beaucoup mieux aux expériences que la sirène primitive de Cagnard-Latour. On peut produire avec cette sirène les intervalles suivants (rigoureusement justes ou altérés à volonté et avec une différence quelconque) : l'unisson, l'octave, la quinte, la quarte, la tierce majeure, la tierce mineure, la seconde ou le ton entier, le demi-ton. (Feltz.)

plus rapidement, à mesure que la vitesse de rotation des disques augmente, à peu près comme les jets de vapeur d'une locomotive au moment où le train se met en marche. On entend d'abord une espèce de bruissement, de tremblement qui devient de plus en plus rapide. Enfin, on entend un son très-grave, augmentant en hauteur et en force à mesure que les disques tournent plus vite.

Admettons que nous ayons communiqué aux disques une vitesse telle qu'ils fassent 33 tours par seconde; supposons ouverte la série de huit trous. Pendant chaque tour du disque, les huit trous de cette série passent devant chacun des trous du réservoir : aussi l'air s'échappe huit fois pendant chaque tour, et l'air extérieur reçoit huit fois 33, ou 264 impulsions par seconde. Nous obtiendrons ainsi l'ut_3 de notre échelle musicale. Si, au contraire, nous ouvrons la série de 16 trous, il y aura deux fois plus de vibrations, c'est-à-dire seize fois 33, ou 528 vibrations par seconde, et nous entendons exactement l'octave de ut_3 ou ut_4. Si nous ouvrons en même temps la série de 8 trous et celles de 16 trous, nous entendrons les deux notes à la fois, et nous pouvons ainsi nous assurer que nous entendons l'accord pur d'une octave. Si nous choisissons les séries de 8 et 12 trous, qui donnent des nombres de vibrations dans le rapport 2 à 3, nous entendrons une quinte pure; 12 et 16 ou 9 et 12 donnent des quartes; 12 et 15 donnent la tierce majeure, etc.

L'instrument porte une disposition qui permet d'élever ou d'abaisser les sons du porte-vent supérieur. Ce réservoir est mobile autour de son axe; une manivelle D permet de le faire tourner par l'intermédiaire d'une roue dentée. Si l'on tourne lentement la manivelle pendant qu'on fait parler une série de trous du disque supérieur, le ton devient un peu plus élevé ou un peu plus bas, selon que les trous du porte-vent vont à la rencontre de ceux du disque ou marchent dans la même direction. S'ils vont à leur ren-

contre, ils se trouvent un peu plus tôt au-dessus des orifices du disque; la durée d'une vibration diminue d'autant, et le son devient un peu plus élevé. Le contraire a lieu lorsque le réservoir marche dans le même sens que le disque.

Si l'on fait parler 8 trous du disque inférieur, 10 du disque supérieur, on entend une octave pure aussi longtemps que le réservoir est en repos; dès qu'on le déplace, le son supérieur change un peu de hauteur et l'octave devient impure.

Si l'on fait parler 12 trous du disque supérieur, 18 du disque inférieur, on a une quinte pure, aussi longtemps que le porte-vent supérieur reste en place; la consonnance devient plus mauvaise dès qu'on le déplace un peu.

Nous pouvons formuler ainsi ce que la sirène nous a appris : 1° Une série de vibrations se succédant assez rapidement dans l'air donnent un son.

2° Plus elles se succèdent rapidement, plus le son s'élève.

3° Lorsque le rapport des nombres de vibrations est de 1 à 2, on entend une octave pure ; s'il est de 2 à 3 ou de 3 à 4 on entend une quinte ou une quarte, etc. Le moindre changement dans ces rapports nuit à la pureté de la consonnance.

Tout ce qui précède vous montre que notre oreille est affectée par les ébranlements de l'air lorsque leur nombre, par seconde, ne sort pas de certaines limites comprises entre 20 et 32 000 à peu près. Cette impression produit sur nous la sensation d'un son.

Si cette sensation est une sensation de son, cela ne dépend nullement de la nature particulière des ébranlements de l'air, mais bien de la perception spéciale de notre oreille et de nos nerfs auditifs. J'ai déjà fait remarquer que nous sentons l'ébranlement de l'air par la peau dans le cas d'un son très-fort. De cette manière, les sourds-muets peuvent percevoir les mouvements de l'air que nous désignons sous

le nom de son; mais ils n'entendent pas, c'est-à-dire leur oreille n'éprouve pas la sensation du son; ils perçoivent le son par les nerfs de la peau, par une sensation particulière de bruissement. Les limites entre lesquelles sont compris les nombres de vibrations que l'oreille perçoit comme son dépendent aussi de sa construction particulière.

Lorsque la sirène tourne lentement, lorsque les pulsations de l'air se succèdent lentement, vous n'entendez aucun son. Lorsque la sirène tourne de plus en plus vite, rien ne change dans la nature des ébranlements de l'air. Ainsi, en dehors de l'oreille, rien de nouveau ne s'ajoute au phénomène. Ce qu'il y a de nouveau, c'est la sensation de l'oreille qui commence seulement en ce moment à être affectée par les ébranlements de l'air, et c'est pour cela que nous donnons un nouveau nom aux vibrations plus rapides, en les appelant des sons. Si vous aimez les paradoxes, vous pouvez dire que le tremblement de l'air ne devient son qu'au moment où il affecte l'oreille.

Je vais vous expliquer maintenant la propagation du son dans l'air. Le mouvement de l'air, au moment où un son le traverse, fait partie d'un genre de mouvements très-importants en physique, des mouvements ondulatoires. Outre le son, la lumière est un mouvement de ce genre. Ce genre de mouvement tire son nom des ondes que nous voyons à la surface de nos eaux, et c'est le mouvement de ces ondes qui vous fera le mieux comprendre les particularités du mouvement de l'air pendant le passage du son.

Lorsque nous ébranlons un point de la surface tranquille des eaux, par exemple, en y jetant une pierre, le mouvement ainsi produit se propage en ondes circulaires qui se répandent sur la surface de l'eau. L'onde circulaire grandit de plus en plus, même lorsque le point où elle a pris naissance est retombé au repos ; à mesure que les rides s'éloignent du centre, elles deviennent moins hautes et disparaissent peu à peu. Dans un mouvement de ce genre, on

aperçoit des parties élevées au-dessus de la surface, des *montagnes*, d'autres plus basses, des *vallées*.

L'ensemble d'une montagne et d'une vallée porte le nom d'*onde*, et nous mesurerons sa longueur du sommet d'une montagne au sommet le plus voisin.

Pendant que l'onde avance à la surface du liquide, entraîne-t-elle les particules d'eau qui la constituent? Nous pouvons nous rendre compte de ce qui se passe en faisant nager sur l'eau un petit brin de paille. Les ondes qui l'atteignent l'élèvent et l'abaissent; mais, après leur passage, il s'est à peine déplacé d'une manière visible.

Mais un petit corps léger nageant à la surface de l'eau suit tous les mouvements des particules d'eau voisines. Nous en concluons que celles-ci n'ont pas suivi l'onde, mais qu'elles sont revenues à la même place après quelques oscillations. Ainsi, ce que nous voyons voyager à l'état d'onde, ce ne sont pas les particules d'eau, ce n'est qu'une forme de la surface, forme qui se construit continuellement à l'aide de nouvelles particules d'eau. Les chemins parcourus par ces particules d'eau sont plutôt des orbites circulaires verticales, dans lesquelles elles se meuvent avec une vitesse constante, aussi longtemps que des ondes passent sur elles.

La ligne noire ABC de la figure 38 représente une sec-

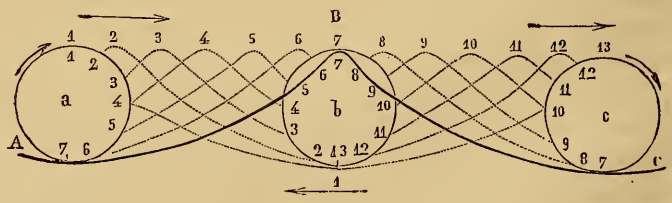


Fig. 38.

tion de la surface de l'eau sur laquelle se propagent des ondes dans la direction des deux flèches placées au-dessus

de *a* et de *e;* les trois cercles *a*, *b*, *c*, indiquent les trajets de quelques particules d'eau de la surface ondulatoire. La particule qui se meut dans le cercle *b* se trouve au point le plus élevé de la surface au moment où celle-ci a la forme ABC. Les particules qui se meuvent dans les cercles *a* et *c* se trouvent, au contraire, aux points les plus bas.

Les particules d'eau se meuvent dans ces cercles dans le sens indiqué par les flèches. Les lignes pointillées représentent d'autres positions des ondes qui ont précédé (les sommets entre *a* et *b*) ou suivi (les sommets *b* et *c*) la position ABC à des intervalles de temps égaux. Les positions des sommets des ondes sont désignées par des chiffres ; les chiffres que l'on voit dans les cercles indiquent les positions des particules d'eau pour les différentes positions de l'onde. On voit qu'elles décrivent des arcs égaux pendant que les sommets des ondes avancent de quantités égales parallèlement à la surface de l'eau.

Le cercle *b* nous montre de plus comment la particule d'eau, dans les positions 1, 2, 3, s'avance à la rencontre des ondes 1, 2, 3, s'élève sur leur partie antérieure, est entraînée de 4 à 7 dans le sens du mouvement par la montagne ; atteint enfin son sommet en 7, pour rester ensuite en arrière et descendre sur la face postérieure de l'onde.

Comme vous le voyez par ce dessin, tous les points de la surface de l'eau décrivent des cercles de même grandeur ; les particules situées au-dessus de la surface se meuvent de la même manière, avec cette différence que les cercles qu'elles décrivent décroissent rapidement avec la profondeur.

Vous comprenez maintenant comment il se fait que vous voyiez le mouvement ondulatoire se propager à la surface de l'eau, sans que les particules d'eau suivent l'onde et fassent autre chose que tourner dans leurs petites orbites circulaires [1].

1. Dans la conférence, la figure 38 était remplacée par un modèle

Pour passer des ondes de l'eau aux ondes sonores, imaginez à la place de l'eau un fluide élastique compressible, comme l'air, et à la place des ondes de l'eau une plaque solide pressée contre la surface de manière que le fluide ne puisse pas échapper latéralement à la pression. Sous les montagnes, là où se trouve la plus grande quantité de fluide, celui-ci sera le plus comprimé ; dans les vallées il le sera moins. A la place des montagnes, vous aurez donc des couches d'air condensées ; à la place des vallées, des couches moins denses. Imaginez de plus que ces ondes comprimées se propagent comme dans le cas de l'eau, et que les orbites verticales des particules d'eau soient comprimées de manière à ne plus être que des lignes horizontales. Les ondes sonores présenteront, comme les ondes de l'eau, cette particularité que les molécules d'air ne font qu'osciller horizontalement autour d'un point, tandis que l'onde elle-même consiste en un mouvement rectiligne, animant successivement des particules nouvelles. Nous obtiendrons ainsi des ondes sonores se propageant horizontalement à partir de leur centre.

Mais la propagation des ondes sonores ne se produit pas seulement comme celle des ondes de l'eau, suivant une surface horizontale ; elles peuvent s'étendre dans tous les sens. Figurez-vous que les cercles produits par une pierre lancée dans l'eau s'étendent dans toutes les directions de l'espace, et vous aurez les ondes sphériques par lesquelles se propage le son dans l'air.

Nous pouvons donc continuer à étudier sur les ondes de l'eau les particularités du mouvement des ondes sonores.

La longueur des ondes d'eau (c'est-à-dire la distance d'une montagne à l'autre) varie beaucoup, depuis les rides que produit à la surface de l'eau la chute d'une goutte de

mobile, dans lequel les points mobiles sont réunis par des fils élastiques et décrivent réellement des cercles ; les fils de communication représentent la surface de l'eau.

pluie ou le souffle d'un vent léger, jusqu'aux vagues produites par un bateau à vapeur, assez fortes déjà pour ballotter un nageur ou un canot ; et encore jusqu'aux vagues furieuses de l'Océan agité par la tempête, dont les vallées peuvent loger des vaisseaux de ligne de la poupe à la proue, et dont les montagnes dépassent la hauteur des mâts. Nous trouvons de semblables différences dans les ondes sonores : les petites rides de la surface de l'eau à ondes courtes correspondent aux sons aigus ; les longues vagues de l'Océan, aux sons bas. L'*ut* à 33 vibrations a, par exemple, des ondes de 36 pieds de long ; son octave supérieure n'a que des ondes moitié aussi longues, et les notes les plus élevées du piano ne donnent que des ondes de 3 pouces.

Vous voyez que la longueur d'onde dépend de la hauteur du son ; j'ajouterai que la hauteur des montagnes, ou bien, en parlant de l'air, l'intensité des condensations et des dilatations successives, correspond à la force et à l'intensité du son. Mais des ondes d'eau de même hauteur peuvent avoir des formes différentes. Les sommets de leurs montagnes peuvent, par exemple, être pointus ou arrondis. Des différences semblables peuvent aussi se présenter pour des ondes sonores de même intensité et de même hauteur : c'est le timbre qui correspond à la forme des ondes de l'eau. On transporte dans l'étude des ondes sonores cette idée de la forme des ondes de l'eau.

Imaginez qu'on aplatisse des ondes d'eau de différentes formes : la surface aplanie ne présentera certainement plus de différences de forme ; mais, dans l'intérieur de la masse d'eau, nous aurons des distributions différentes de pression et de densité, qui répondront aux différences de forme de la surface primitive.

Nous pourrons donc, dans ce sens, parler de la forme des ondes sonores et la représenter. Nous élevons la courbe là où la pression augmente ; nous l'abaissons où elle diminue. C'est tout comme si, au-dessous de la couche, se trou-

vait un fluide comprimé qui ne reperdrait sa densité naturelle qu'en se détendant jusqu'à la hauteur de la courbe.

Malheureusement nous ne pouvons encore nous rendre compte que dans des cas très-rares de la manière dont varie la forme des ondes avec les timbres des divers corps sonores.

La figure 39 représente l'une des formes les plus impor-

Fig. 39.

tantes des ondes sonores ; nous pouvons l'appeler la forme de l'onde simple ou pure. On ne la voit sur l'eau que lorsque les ondes, peu hautes par rapport à leur longueur, glissent, sans éprouver aucune influence perturbatrice, à la surface d'une eau non ridée par le souffle du vent. Les montagnes et les vallées sont arrondies, également larges et symétriques, de telle façon que si l'on pouvait retourner les montagnes et les coucher dans les vallées, elles les rempliraient exactement. On pourrait caractériser cette forme d'une manière plus nette, en disant que les molécules d'eau parcourent avec des vitesses égales des orbites parfaitement circulaires et de petits diamètres. A cette forme simple correspond une espèce de sons que nous appellerons *sons simples*, par rapport à leur timbre, en nous basant sur des faits que nous étudierons un peu plus loin. Nous obtenons de pareils sons en plaçant un diapason vibrant devant l'ouverture d'un tuyau résonnant. Le son d'une voix humaine, chantant la voyelle *ou* sur une note moyenne, ne paraît pas s'éloigner beaucoup de cette somme d'onde.

On connaît suffisamment les lois du mouvement des ondes, pour pouvoir, dans certains cas, déterminer la forme

du mouvement qu'elles impriment à l'air. La figure 40 représente les formes que prend successivement une corde

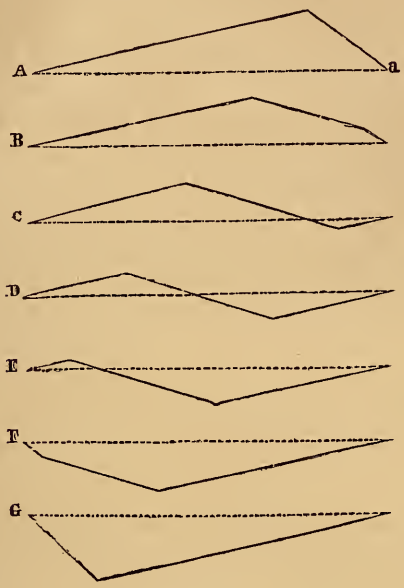


Fig. 40.

de guitare ébranlée à l'aide d'une pointe. A*a* représente la forme de la corde au moment où on la pince; viennent ensuite, à des intervalles de temps égaux, les formes B, C, D, E, F, G, puis F, E, D, C, B, et ainsi de suite, de la première à la dernière et de la dernière à la première. La forme du mouvement qu'une telle corde transmet à l'air par l'intermédiaire de la boîte résonnante est représentée à peu près par la figure 41. Dans cette ligne brisée, HH corres-

Fig. 41.

pond à la question d'équilibre, et les lettres A, B, C, D, E, F, G, indiquent les positions correspondant aux formes de la corde désignées par les grandes majuscules dans la figure 40. On voit facilement comment la forme de ces ondes (qui ne pourraient jamais se produire à la surface de l'eau) diffère de celle de la figure 41, même indépendamment de la grandeur ; la corde ne transmet à l'air qu'une série d'oscillations de courte durée et dirigées alternativement dans des sens opposés [1].

Les ondes sonores produites dans l'air par le son d'un violon présenteraient, si nous les représentions d'une manière analogue, la forme de la figure 42. Pendant chaque

Fig. 42.

période du mouvement vibratoire, la pression croît d'une manière régulière, et retombe brusquement au minimum à la fin de la période.

Telles sont donc les différences que présentent les formes des ondes sonores pour des timbres différents ; nous pouvons même pousser plus loin la comparaison. Plus les figures d'ondes sont régulièrement arrondies, plus le timbre est doux ; plus la figure est déchirée, angulaire, plus le son est rude. Les diapasons avec leurs ondes arrondies (fig. 40) ont un son extrêmement doux ; les sons de la guitare et du violon ont quelque chose du caractère tranché 41 et 42.

Je voudrais maintenant appeler votre attention sur un spectacle plus instructif encore, que je n'ai jamais observé sans éprouver un certain plaisir, parce qu'il permet aux

1. On admet ici que la caisse sonore et l'air qui l'entoure suivent immédiatement la traction qu'exerce l'extrémité de la corde, sans exercer une réaction appréciable sur le mouvement de celle-ci.

yeux du corps de voir sur la surface des eaux ce que l'œil intellectuel du mathématicien peut seul admirer dans l'air traversé en tous sens par des ondes sonores. Je veux parler de la superposition des différents systèmes d'ondes, dont chacune poursuit son chemin sans être troublée par les ondes voisines. Nous pouvons le voir du haut d'un pont sur l'eau de nos fleuves; mais la mer nous le présente de la manière la plus grandiose, lorsque nous l'examinons d'un point élevé de la côte.

J'ai passé bien des heures à l'observer sur les côtes escarpées et couvertes de forêts près de Kœnigsberg; la mer Baltique y remplace les Alpes pour nous autres habitants de la Prusse orientale.

On y voit toujours des systèmes d'ondes de longueurs diverses se propageant en nombre incalculable dans des directions différentes. Les plus longues viennent d'ordinaire de la pleine mer et se dirigent vers le rivage; de plus petites prennent naissance à l'endroit où les vagues se brisent; elles retournent vers la haute mer. Peut-être au même instant un oiseau de proie se précipite sur un poisson et donne naissance à un nouveau système d'ondes circulaires qui s'étendent sur la surface ballottée des vagues aussi régulièrement que sur la surface tranquille d'un lac. Depuis les limites de l'horizon, où des lignes d'écume blanche s'élevant au-dessus de la surface bleuâtre lui annoncent l'arrivée des vagues, jusqu'à ses pieds, où elles viennent dessiner leurs arcs sur le sable du rivage, l'observateur voit se dérouler l'image imposante d'une force immense, d'une variété infinie, qui ne trouble pas l'esprit, mais qui le fixe et l'élève, parce que l'œil y reconnaît facilement l'ordre et la loi.

Il faut de même vous figurer l'air d'une salle de danse ou de concert, parcouru dans tous les sens par une foule d'ondes s'entrecroisant gracieusement. De la bouche des hommes sortent des ondes de 6 à 12 pieds de longueur;

des lèvres des dames s'échappent des ondes plus courtes, de 1 pied et demi à 3 pieds de long. Le frôlement des habits produit de petites plissures dans l'air ; chaque son de l'orchestre émet ses ondes, et tous ces systèmes se propagent sphériquement depuis leur origine, se traversent les uns les autres, se réfléchissent sur les murs de la salle, et rebondissent çà et là, jusqu'à ce que, dominés par des ondes nouvelles, ils s'éteignent.

Ce spectacle est invisible aux yeux du corps, mais un autre organe, l'oreille, vient nous en donner des nouvelles. Elle décompose cet embrouillement d'ondes, plus inextricable que celui des vagues de la mer, dans les sons isolés qui les constituent ; elle distingue les voix des hommes et des dames, même celle de chaque individu ; elle reconnaît les sons des divers instruments de musique, le frôlement des habits, le bruit des pas, etc.

Examinons un peu comment cela se passe. Lorsque, comme nous l'avons supposé tout à l'heure, un oiseau de proie vient heurter la surface agitée de la mer, des ondes circulaires prennent naissance, et s'étendent lentement et régulièrement sur la surface agitée, comme elles le feraient sur une surface unie.

Ces cercles coupent la surface couverte de vagues, comme ils couperaient la surface tranquille de l'eau. Dans ce cas, comme dans d'autres plus compliqués encore, la forme de la surface de l'eau dépend de la hauteur de chacun de ses points, et cette hauteur est égale à la somme des hauteurs des montagnes d'ondes, moins la somme des profondeurs des vallées qui se rencontrent en ce point. Une telle somme de grandeurs positives (les montagnes) et de grandeurs négatives (les vallées), ces dernières se soustrayant au lieu de s'ajouter, est une somme algébrique, et dans ce sens nous pouvons dire : *La hauteur de chaque point de la surface de l'eau est égale à la somme algébrique de toutes les portions d'ondes qui s'y rencontrent au même instant.*

Il en est de même pour les ondes sonores. Elles s'ajoutent aussi en chaque point de l'espace, ainsi que dans l'oreille de l'observateur. La condensation et la vitesse des particules d'air dans le conduit auditif sont égales à la somme algébrique des condensations et des vitesses appartenant à chacune des ondes en particulier. Ce mouvement unique de l'air, résultant de l'action commune de différents corps sonores, l'oreille est obligée de le redécomposer en parties correspondant aux différentes actions isolées. Elle se trouve, sous ce rapport, dans des conditions bien moins favorables que l'œil, qui embrasse à la fois la surface vibrante tout entière, tandis que l'oreille ne peut naturellement percevoir que les mouvements des molécules d'air les plus voisines. Et cependant l'oreille remplit sa fonction avec autant d'exactitude que de précision. Cette faculté de l'oreille est de la plus grande importance pour l'ouïe; sans elle nous ne pourrions distinguer les uns des autres les différents sons.

Des découvertes anatomiques récentes nous permettent de nous rendre compte de cette faculté importante de l'oreille.

Vous avez sans doute tous observé le phénomène de la communication des vibrations, sur des instruments de musique, sur des instruments à cordes surtout. Une corde de piano dont on a enlevé l'étouffoir se met à vibrer dès qu'on produit dans son voisinage, et avec une intensité suffisante, le son qu'elle rend elle-même. Lorsque le son excitateur cesse, on entend encore pendant quelques instants le son produit par la corde. Si l'on place sur cette corde de petits chevalets de papier, elle les fait tomber dès que son propre son est produit dans le voisinage. La corde se met à vibrer parce que les particules vibrantes de l'air viennent frapper contre elle et contre la table d'harmonie sur laquelle elle est posée.

Une montagne d'onde de l'air, prise isolément, agit cer-

tainement d'une manière trop faible pour imprimer à la corde un mouvement visible. Mais lorsqu'une longue série de ces montagnes viennent frapper la corde de telle façon que chacune vient augmenter le faible ébranlement produit par les ondes précédentes, l'effet devient bientôt sensible. Il se passe ici quelque chose d'analogue à ce que nous voyons se produire lorsqu'on cherche à mettre en mouvement une cloche d'un poids énorme : l'homme le plus vigoureux peut à peine l'ébranler en la poussant de toutes ses forces, tandis qu'un petit garçon peut lui imprimer peu à peu les oscillations les plus violentes, s'il a soin, en tirant la corde, de suivre le rhythme qu'exécute la cloche dans les oscillations.

Dans ce cas, l'accroissement des oscillations dépend complétement du rhythme que l'on suit en tirant la corde. Lorsque la cloche a commencé à exécuter des oscillations isochrones, l'enfant peut exercer une traction sur la corde au moment où elle descend, et augmenter ainsi le mouvement que possède déjà la cloche : chacun de ses efforts augmentera, quoique faiblement, l'amplitude de l'oscillation, qui deviendra bientôt très-grande.

Si l'enfant voulait appliquer sa force à tirer sur la corde à des intervalles irréguliers, tantôt en augmentant le mouvement de la cloche, tantôt en agissant en sens contraire, il n'arriverait à aucun résultat.

De même qu'un enfant peut mettre en branle une cloche, de même que les vibrations des particules d'air, si légères et si mobiles, peuvent mettre en mouvement la lourde et solide masse d'acier du diapason, lorsque le son qui fait vibrer l'air est à l'unisson de celui du diapason ; dans ce cas comme dans le précédent, chacune des ondes aériennes successives renforce le mouvement produit par celles qui l'ont précédée.

On peut facilement s'en assurer en fixant un diapason (fig. 43) sur sa caisse de résonnance, et en ébranlant l'air

par un second diapason à l'unisson du premier et monté de la même manière. Si l'on fait vibrer fortement l'un des diapasons, l'autre commence, au bout de fort peu de temps, à vibrer par influence. Si l'on arrête le son du premier en le touchant un instant avec la main, le second continue à résonner, et le premier recommence à son tour, sous l'influence des vibrations communiquées à l'air par le second.

Si l'on fixe un petit peu de cire sur l'extrémité des deux branches de l'un des diapasons, ce qui en abaisse le son

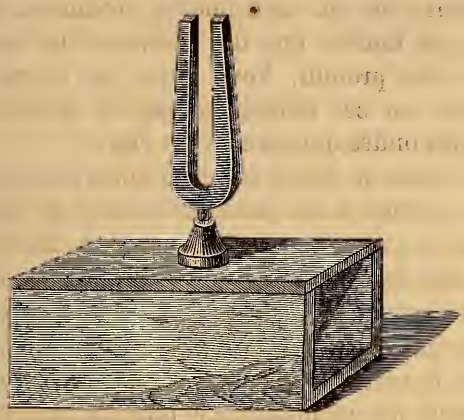


Fig. 43.

d'une manière à peine appréciable à notre oreille, il n'est plus à l'unisson du second et ne peut se mettre en vibration. En effet, les durées des vibrations ne sont plus les mêmes, et les chocs des vibrations produites dans l'air par l'un des diapasons peuvent bien, pendant un certain temps, suivre à peu près les mouvements du second, et par suite les augmenter, mais il arrive bientôt un moment où ils agissent en sens contraire et détruisent l'effet qu'ils ont produit au commencement.

Les corps plus légers et plus faciles à mettre en vibration,

les cordes par exemple, prennent plus vite les vibrations de l'air ; aussi est-il plus facile de les faire parler sous l'influence d'un autre son, même lorsque celui-ci n'est plus tout à fait à l'unisson de leur propre son.

Si l'on produit plusieurs sons à la fois à côté d'un piano, l'une quelconque de ses cordes ne peut vibrer que si son propre son s'y trouve. Imaginez qu'on ait enlevé tous les étouffoirs d'un piano et placé sur toutes les cordes de petits chevalets de papier, qui tomberont dès que la corde sera ébranlée. Si maintenant, dans le voisinage de ce piano, des voix humaines ou des instruments produisent des sons, vous ne verrez tomber que des chevalets des cordes dont le son aura été produit. Vous voyez par là que le piano sait résoudre en ses différentes parties constituantes le pêle-mêle des ondes qui parcourent l'air.

Ce qui se passe en pareil cas dans notre oreille ressemble peut-être beaucoup à ce que nous venons de voir dans le piano. Dans la profondeur de l'os temporal, dans la portion pierreuse dans laquelle est creusée notre oreille interne, se trouve un organe particulier appelé limaçon, parce qu'il consiste en une cavité remplie d'eau, et ressemblant complétement à la partie interne de la coquille du limaçon si commun dans nos vignobles. Le limaçon est divisé dans toute sa longueur en trois parties (supérieure, moyenne et inférieure) par deux membranes tendues à la moitié de sa hauteur. Dans le compartiment moyen, le marquis de Corti a découvert des organes très-remarquables, de petites plaques microscopiques innombrables, rangées régulièrement les unes à côté des autres comme les touches d'un piano, communiquant par l'une de leurs extrémités avec les fibres du nerf acoustique, et par l'autre avec la membrane tendue.

La figure 44 montre cette disposition excessivement compliquée d'une portion de la membrane qui divise le limaçon. Les arcs qui quittent la membrane en *d*, pour s'y fixer de nouveau en *e*, atteignent leur plus grande hauteur

entre *m* et *o ;* ce sont là probablement les parties susceptibles de vibrer. Ils sont entourés de fibres innombrables, parmi lesquelles on reconnaît les fibres nerveuses qui vien-

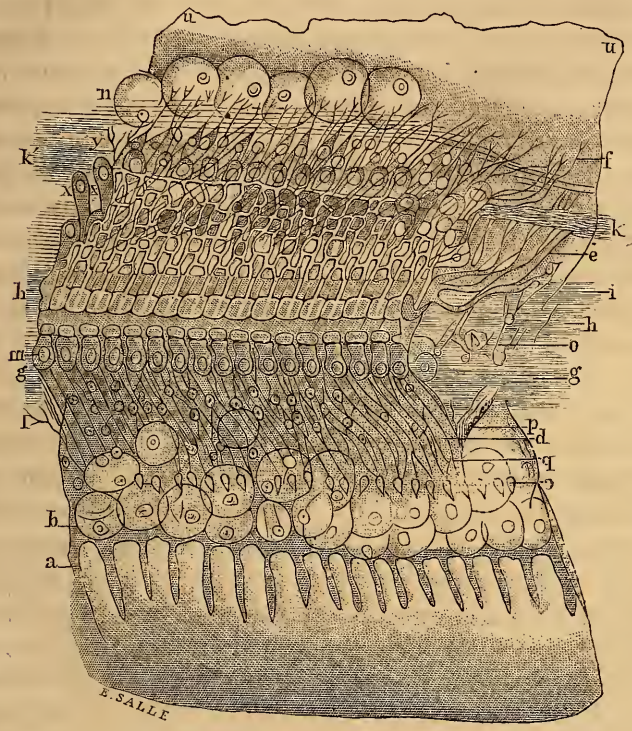


Fig. 44.

nent s'y joindre par les trous *e*. Les fibres diamétrales, *g*, *h*, *i*, *k*, et les cellules *o*, paraissent aussi appartenir au système nerveux.

Ces arcs *d*, *e*, au nombre de plus de trois mille, sont placés régulièrement les uns à côté des autres, comme les touches d'un piano, sur toute la longueur de la paroi du limaçon.

On a trouvé tout récemment dans les autres portions de l'appareil auditif, dans ce qu'on appelle le vestibule, — où les nerfs se répandent sur de petites poches membraneuses nageant au milieu d'un liquide aqueux, — des nerfs terminés par des appendices élastiques qui ont la forme de petits poils roides. La disposition anatomique de ces appendices permet d'affirmer presque sûrement qu'ils se mettent à vibrer à l'unisson des vibrations sonores amenées dans l'oreille. Admettons, de plus, que chacun de ces arcs de l'ouïe, de même que les cordes d'un piano, soit accordé de manière à ne rendre qu'un son déterminé : ce n'est là qu'une hypothèse jusqu'ici, mais une hypothèse que l'examen attentif des facultés de l'oreille me paraît rendre très-probable. En vous reportant à ce qui se passe dans le piano, vous voyez que chacun de ces appendices ne pourra vibrer, et par suite la fibre nerveuse correspondante ne pourra percevoir la sensation du son que lorsqu'un son convenable y arrivera, et que la présence d'un son particulier dans une réunion confuse de sons divers doit toujours être marquée par la sanction correspondante [1].

1. Depuis la conférence de Bonn, l'anatomie de l'oreille a fait des progrès à la suite desquelles cette hypothèse a dû être modifiée par Helmholtz dans la troisième édition de son livre *die Lehre des Tonempfundungen* paru en 1870, traduite en français sous le titre de la *Théorie physiologique de la musique*. (Paris, Masson, 1874, appendice, p. 560 et suivantes.)

Voici comment on peut résumer ces modifications. Les fibres de Corti n'existent point chez les oiseaux et les reptiles, comme l'a démontré Hasse; il n'est donc plus possible de leur assigner la même fonction qu'auparavant. Or Hensen a remarqué qu'une des membranes libres du limaçon, la *membrana basilaris* est très-résistante dans le sens de ses fibres, tandis qu'elle se déchire facilement dans une direction perpendiculaire. Helmholtz en a conclu que les fibres de la *membrana basilaris* pouvaient être considérées comme autant de cordes, faiblement rattachées les unes aux autres ; il a soumis cette nouvelle hypothèse au calcul qui l'a confirmée. En sorte que, jusqu'à nouvel ordre, ce sont les fibres de la *membrana basilaris* qui jouent le rôle précédemment attribué aux fibres de Corti.

Notons aussi que, de l'étude plus approfondie du mode de liaison des osselets, Helmholtz a conclu que tout son très-fort, même objectivement simple, donne lieu à la sensation d'harmoniques. L'importance de ces derniers dans la théorie et la pratique de la musique doit nécessairement s'en accroître.

Puis l'expérience vous prouve que l'oreille peut résoudre en leurs parties isolées des mouvements sonores composés.

Par mouvements sonores composés, nous avons exprimé jusqu'ici ceux qui ont pris naissance sous l'action simultanée de plusieurs corps vibrants. Comme la forme de ces ondes sonores varie avec les différents instruments musicaux qui les produisent, il pourra se faire que la manière dont vibre l'air dans le canal auditif en produisant un tel son, soit identique avec le genre de vibrations qui, dans d'autres cas, se produisent sous l'influence de deux ou plusieurs instruments agissant à la fois. Si l'oreille peut, dans ce dernier cas, décomposer le mouvement en ses parties isolées, elle pourra bien aussi le faire dans le premier, lorsque le son provient d'une source unique. C'est en effet ce qui a lieu.

Je vous ai parlé plus haut de la forme d'onde aux montagnes et aux vallées doucement arrondies; je l'ai appelée l'onde simple ou pure. Le mathématicien français Fourier a énoncé un principe important, s'appliquant à ce genre d'onde; on peut le traduire en langage ordinaire, et l'exprimer à peu près ainsi : *Une forme d'onde quelconque peut être composée d'un certain nombre d'ondes simples de longueurs différentes.* La plus longue de ces ondes simples a la même longueur que l'onde donnée, les autres ont une longueur deux, trois, quatre et cinq fois plus petite.

On peut produire une variété infinie de ces formes en réglant différemment la rencontre des montagnes et des vallées.

Les courbes A et B (fig. 45) représentent des ondes de sons simples. B fait dans le même temps deux fois plus de vibrations que A, dont il est, par suite, l'octave. C et D représentent, au contraire, des ondes produites par la superposition des ondes A et B. La partie ponctuée au commencement de ces courbes représente le commencement de la

courbe A. En C, on a placé le commencement *e* de la courbe B sur le commencement de A ; en D, on a au contraire placé la première vallée b_2 de la courbe B sur le commencement de A. Il résulte de ces superpositions deux courbes

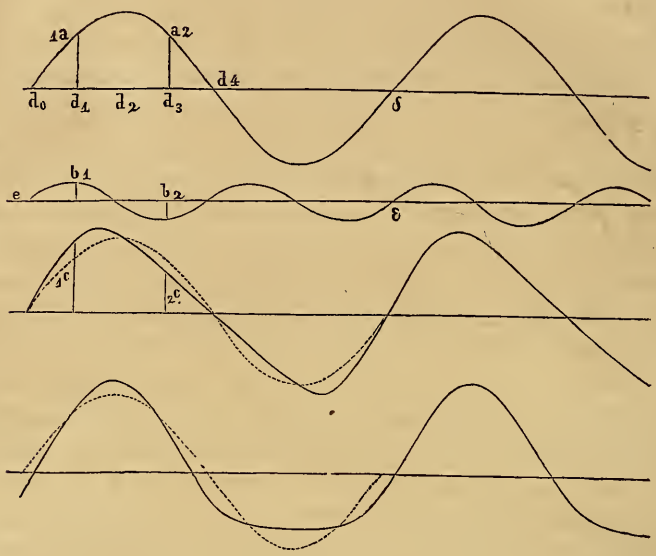


Fig. 45.

composées différentes, dont la première a des montagnes s'élevant rapidement et s'abaissant en pente plus douce, dont les sommets rempliraient exactement les vallées; D, au contraire, nous montre des montagnes pointues et des vallées planes, mais symétriques en avant et en arrière.

La figure 46 nous montre d'autres formes résultant de la superposition des deux ondes simples A et B. B fait trois fois plus de vibrations par seconde que A, et par suite correspond à la quinte de l'octave supérieure de A. En C et D, les courbes ponctuées sont des vibrations de A. C a des

sommets aplatis et des vallées planes, D des sommets et des vallées pointues.

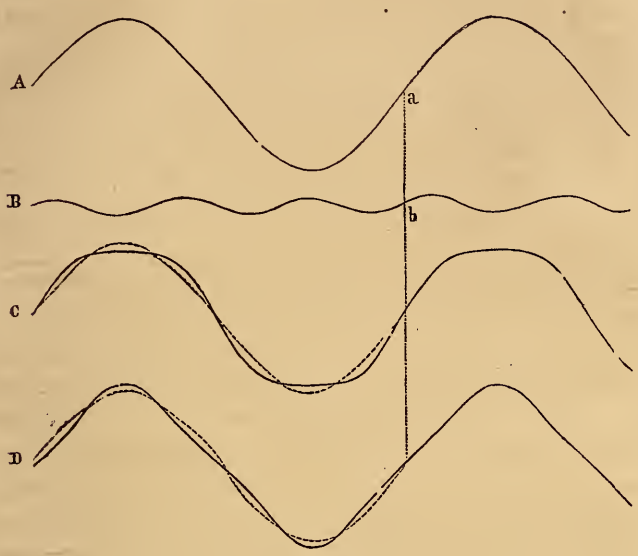


Fig. 46.

Ces exemples, choisis parmi les plus simples, suffisent pour vous donner une idée de la variété des formes qui peuvent être produites par des superpositions de ce genre. Si, au lieu de ne prendre que deux ondes simples, on en prend plusieurs, en variant à volonté leur origine et leur hauteur, on peut en déduire des variétés innombrables, et produire en réalité une forme d'onde quelconque[1].

Lorsque différentes ondes simples se réunissent à la surface de l'eau, l'onde composée ne subsiste qu'un instant, parce que les ondes les plus longues se propagent plus

1. Les ondes ne doivent pas, bien entendu, présenter de parties superposées ; elles n'auraient d'ailleurs aucune signification acoustique.

rapidement que les plus courtes ; elles se séparent donc de nouveau, et l'œil peut ainsi constater qu'il y a plusieurs systèmes d'ondes en présence. Mais lorsque des ondes sonores sont ainsi composées, elles ne se séparent plus, parce que les ondes longues et courtes se propagent également vite à travers l'air. L'onde reste composée telle qu'elle est, et au moment où elle frappe l'oreille, il est impossible de reconnaître si elle est restée telle qu'elle est sortie de l'instrument musical, ou bien si elle s'est formée en route par la superposition d'un ou de plusieurs systèmes d'ondes.

Que fait maintenant l'oreille ? les résout-elle, ou bien les entend-elle comme un tout ? La réponse peut varier avec le sens que l'on attache à la question. Il faut, en effet, distinguer ici deux choses : la *sensation* dans le nerf acoustique, telle qu'elle se produit, sans aucune intervention d'activité intellectuelle ; ensuite la *représentation* que nous nous en faisons à la suite de cette sensation. Nous sommes donc obligés de distinguer, pour ainsi dire, entre l'oreille matérielle du corps et l'oreille spirituelle de l'entendement. L'oreille matérielle fait toujours ce que le mathématicien fait à l'aide du principe de Fourier, ce que fait le piano par l'ensemble de ses cordes ; elle résout les formes d'ondes qui ne correspondent pas comme les sons du diapason à des ondes simples, en une somme d'ondes simples, et perçoit isolément le son appartenant à chaque onde, que l'onde soit sortie composée ainsi de la source qui l'a produite, ou bien qu'elle se soit composée en route.

Si nous pinçons une corde, par exemple, elle nous donne, comme nous l'avons vu, un son dont la forme s'éloigne beaucoup de celle d'un ton simple. L'oreille, en décomposant cette forme en une somme d'ondes simples, entend en même temps une série de sons simples correspondant à ces ondes.

Les cordes se prêtent très-bien à ces recherches, parce

qu'elles peuvent elles-mêmes prendre pendant leur mouvement des formes très-différentes, que l'on peut, de même que les formes d'ondes, regarder comme composées d'ondes simples. Nous avons déjà vu (fig. 40, p. 177) les formes successives que prend une corde frappée à l'aide d'un petit bâton. La figure 47 nous montre un certain nombre d'autres formes correspondant à des sons simples : la ligne pleine indique la courbure maximum que prend la corde dans un

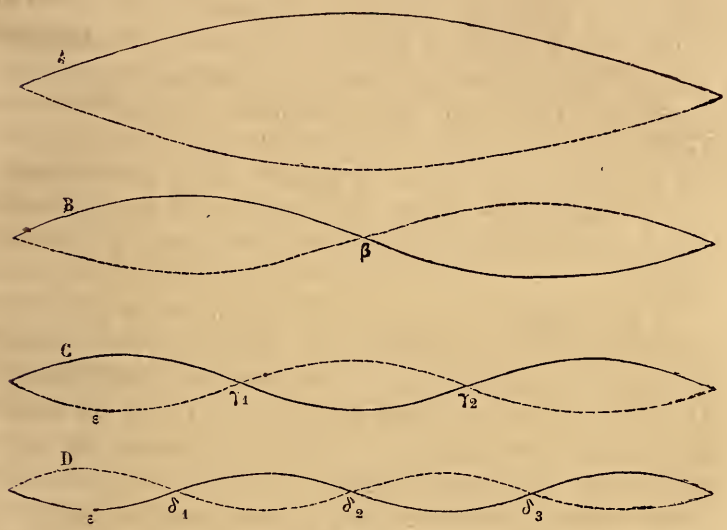


Fig. 47.

sens ; la ligne ponctuée indique la courbure maximum dans le sens opposé. En *a*, la corde rend le son fondamental, le son simple le plus bas qu'elle puisse donner ; elle oscille dans toute sa longueur successivement dans les deux sens. En *b*, elle se divise en deux parties vibrantes, entre lesquelles se trouve un point de repos, *un nœud* β : le son produit est l'octave supérieure du son fondamental ; chacune de ces deux portions donnerait isolément le même

son, et fait, ainsi que la corde totale, deux fois plus de vibrations que dans *a*. En *c*, nous avons trois nœuds, trois portions vibrantes et trois fois autant de vibrations que dans le son fondamental, dont on entend la douzième ; en *d*, nous avons quatre divisions, quatre fois plus de vibrations que dans *a*, la double octave supérieure.

Il peut de même se présenter des formes avec 5, 6, 7, etc., parties vibrantes ; toutes les autres formes des cordes peuvent être considérées comme composées d'une somme de vibrations simples de ce genre.

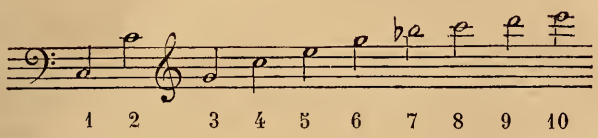
On peut produire la division des cordes en plusieurs parties séparées par des nœuds, en touchant légèrement du doigt ou avec une petite baguette l'endroit d'un de ces nœuds, pendant que l'on fait vibrer la corde, soit par un coup d'archet, soit en la pinçant ou en laissant tomber le marteau du piano. On obtient ainsi les sons harmoniques des cordes, dont les violonistes font si souvent usage.

Si maintenant nous touchons légèrement en β (fig. 47) une corde mise en vibration d'une manière ou d'une autre, les formes vibratoires *a* et *c* sont gênées et s'affaiblissent ; les formes *b* et *d*, pour lesquelles β est un nœud, ne subissent aucun changement, et continuent à vibrer. On peut donc ainsi reconnaître facilement si une corde attaquée d'une manière déterminée produit certains sons simples, et l'on peut isoler ces sons.

Si l'on a ainsi réussi à entendre les divers sons simples produits en même temps par une corde, on parvient, en redoublant d'attention, à les distinguer dans le son primitif de la corde.

La série de sons qui se joignent ainsi à un son fondamental donné est parfaitement déterminée : ce sont les sons qui correspondent à deux, trois, quatre, etc., fois plus de vibrations que le son fondamental. On les appelle *harmoniques supérieurs* du son fondamental. Si nous appelons

ce son fondamental *ut*, la série des harmoniques, en langage musical ordinaire, sera :



De même que les cordes, presque tous les instruments de musique produisent des ondes sonores qui ne correspondent pas complétement à la forme de l'onde pure; elles sont presque toujours composées d'un nombre plus ou moins grand d'ondes simples. L'oreille les analyse toutes d'après ce principe de Fourier, mieux que le mathématicien le plus habile; elle entend, en s'y appliquant convenablement, les harmoniques correspondant aux ondes simples isolées. Ce fait est, du reste, complétement d'accord avec l'idée que nous nous faisons des organes de Corti. L'expérience nous montre par l'exemple du piano, et la théorie mathématique nous apprend d'une manière générale, que dans un son donné, le son fondamental n'est pas seul capable de communiquer son mouvement à un autre corps; les sons harmoniques ont aussi cette propriété. Il en résulte que dans le limaçon de l'oreille, un son extérieur ne met pas simplement en vibration la petite plaque qui correspond à sa note fondamentale; les plaques correspondant aux différents harmoniques supérieurs vibrent aussi et communiquent leurs vibrations aux fibres nerveuses, en sorte que nous percevons les harmoniques en même temps que le son fondamental.

D'après ce qui précède, on ne doit donc appeler un son simple, que lorsqu'il est produit par un système d'ondes simples. Toutes les autres formes d'ondes, telles qu'elles sont produites par la plupart des instruments de musique, produisent des sensations acoustiques multiples.

Il en résulte qu'au point de vue de la sensation, tous les sons produits par des instruments de musique doivent être considérés comme des accords où prédomine le son fondamental.

Toute cette étude des harmoniques vous paraît peut-être nouvelle et étrange. Vous avez tous déjà souvent entendu ou fait vous-même de la musique, vous jouissez peut-être d'une oreille musicale très-bonne, et cependant je suis sûr que fort peu d'entre vous ont observé ces sons qui, d'après ce que je viens de vous dire, existent toujours. Il est à remarquer qu'il faut un certain degré d'attention pour les entendre, sans quoi ils nous restent cachés. Nos perceptions par les sens ne sont pas de simples sensations du système nerveux ; il faut toujours une activité particulière de l'âme pour passer de la sensation du nerf à la représentation exacte de l'objet extérieur qui a produit la sensation. Les sensations de nos nerfs sensitifs sont pour nous des signes d'objets extérieurs, et l'exercice seul peut nous apprendre à tirer de nos impressions des conclusions justes sur l'objet qui les a produites. Mais il est une loi générale pour toutes les perceptions par les sens : c'est que nous ne faisons attention à nos sensations que si elles peuvent nous servir à reconnaître les objets extérieurs ; sous ce rapport, nous sommes tous, plus que nous ne le pensons, partisans de l'utilité pratique. Nous avons l'habitude d'ignorer toutes les impressions qui n'ont pas un rapport direct avec les objets extérieurs ; nous ne nous en occupons que dans des recherches scientifiques sur l'activité des sens, et dans des maladies pendant lesquelles nous dirigeons davantage nos observations sur les phénomènes de notre corps. Que de personnes voient pour la première fois nager dans leurs yeux de petits grains, de petites fibres, qu'on appelle des mouches, lorsqu'elles sont atteintes d'une légère inflammation des yeux ; elles se font alors les idées les plus hypochondriaques sur la présence de ces corpus-

cules qu'elles se figurent provenir de la maladie, et qu'elles ont eus généralement durant toute leur vie, devant les yeux, sans les voir.

Qui s'aperçoit facilement que sur la rétine d'un œil sain se trouve un endroit complétement privé de la faculté de voir, le *punctum cœcum?* Beaucoup de personnes savent-elles qu'elles ne voient simples que les seuls objets qu'elles fixent, et qu'elles voient doubles tous ceux qui sont placés en avant ou en arrière de ceux-là ? Je pourrais vous citer une longue série de faits analogues, dont on n'a eu connaissance que par les recherches scientifiques sur les sens, et qui restent complétement cachés jusqu'à ce qu'on dirige l'attention sur eux, en employant des moyens convenables, ce qui est souvent très-difficile.

Les harmoniques supérieurs rentrent dans ce genre de phénomènes. Il ne suffit pas que le nerf acoustique éprouve la sensation du son, il faut que l'intelligence y fasse attention; c'est pour cela que j'ai distingué tout à l'heure l'oreille corporelle de l'oreille spirituelle.

Nous entendons toujours le son d'une corde, accompagné d'une certaine combinaison d'harmoniques. Cette combinaison est différente pour le son de la flûte, la voix de l'homme ou le hurlement du chien. Il nous importe de savoir si nous sommes dans le voisinage d'un violon, d'une flûte, d'un homme ou d'un chien: aussi notre oreille s'exerce-t-elle à distinguer les particularités de ces divers sons. Quant *aux moyens* que nous employons pour les distinguer, peu nous importe de les connaître.

Que la voix du chien contienne l'octave supérieure ou la douzième du son fondamental, il n'y a là aucun intérêt pratique, aucun objet qui puisse appeler notre attention. Ainsi les sons harmoniques rentrent dans cette particularité du son que nous appelons le *timbre*. Comme l'existence des sons harmoniques dépend de la forme de l'onde sonore, vous voyez que j'avais raison de vous dire que le *timbre*

(*klangfarbe*, couleur du son) répond à la forme des ondes.

On entend le plus facilement les notes harmoniques lorsqu'elles forment une dissonance avec le son fondamental, comme cela a lieu pour les cloches. L'art de fondre les cloches consiste à donner à la cloche une forme telle que les sons plus bas qui accompagnent le son principal forment un accord consonnant, sans quoi la cloche n'a pas un son musical et résonne comme un chaudron ; les notes concomitantes supérieures restent toujours dissonantes, et c'est à cause de cela que le son de la cloche ne se prête pas à la musique artistique.

Il ressort, au contraire, de ce qui précède, qu'on entendra d'autant plus difficilement les harmoniques supérieurs, qu'on aura entendu plus souvent les sons composés dans lesquels ils se présentent. C'est ce qui arrive surtout pour la voix humaine ; de nombreux observateurs, et des plus habiles, ont cherché en vain à entendre les notes harmoniques de la voix humaine.

Cette manière d'envisager les choses s'est vérifiée d'une manière fort frappante ; elle m'a conduit à trouver une méthode qui m'a permis d'entendre et de faire entendre à d'autres personnes les harmoniques de la voix humaine.

Il n'est pas nécessaire pour cela d'avoir une oreille musicale bien exercée, ainsi qu'on l'a cru jusqu'ici ; il suffit de diriger l'attention à l'aide des moyens convenables.

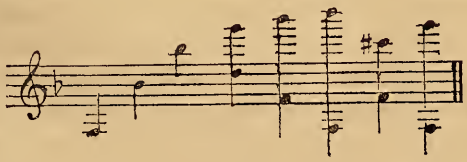
Qu'une forte voix d'homme chante la voyelle *o* à la hauteur du *ré* $_2$. Donnez sur le piano, et très-doucement, le *la* $_3$, et fixez votre attention sur le son faiblissant du piano. Si ce son est l'un des harmoniques contenus dans le timbre de la voix, le son du piano a l'air de persister, l'oreille entend comme sa continuation l'harmonique correspondant de la voix. On trouve ainsi, en variant cet essai, que les différentes voyelles se distinguent par leurs sons harmoniques.

Ce genre de recherches est rendu bien plus facile encore,

si l'on a soin d'armer l'oreille de boules de cuivre ou de verre, comme celle de la figure 48. L'ouverture la plus large, *a*, est tournée du côté de la source sonore ; on introduit dans le canal auditif l'extrémité *b* étirée en entonnoir. La masse d'air suffisamment délimitée de la boule a un son propre, qu'on peut faire apparaître en y soufflant par le bord *a*. Si maintenant on produit dans le voisinage de la boule le son pour lequel elle est accordée, soit comme son fondamental, soit comme harmonique d'un son quelconque, l'air du résonnateur se met à vibrer fortement, et l'oreille entend le son rendu bien plus intense. Il est facile ainsi de décider si le son propre du résonnateur fait partie d'un son ou d'une réunion de sons.

Fig. 48.

Si l'on examine les voyelles de la voix humaine, on reconnaît facilement, à l'aide des résonnateurs, que les harmoniques de chaque voyelle sont particulièrement forts dans certains endroits de la gamme : dans les environs du la_2, pour la voyelle *o ;* dans les environs du la_4, au delà et au-dessus, pour la voyelle *a*. Je transcris en langage musical les parties de la gamme où les harmoniques des différentes voyelles apparaissent avec une intensité particulière, prononcées avec l'accent du nord de l'Allemagne :



Une expérience bien simple nous permet de voir que le timbre se produit lorsque les différents sons simples qui composent un son analogue à celui d'une voyelle prononcée par une voix humaine proviennent d'une source unique ou de plusieurs sources différentes. Un piano dont on a enlevé tout le système d'étouffoirs ne répond pas seulement par des sons de même hauteur que ceux qu'on produit à côté de lui : si vous chantez la voyelle *a* sur une note quelconque du piano, le piano répond très-distinctement *a ;* si vous chantez *e, o* ou *u*, les cordes répondent également *e, o, u*. Il suffit pour cela de produire bien exactement la note que vous voulez chanter. Mais le son de voyelle que répond le piano ne peut se produire que par ce fait, que les cordes intérieures qui correspondent aux harmoniques de la voyelle vibrent en même temps. Si vous laissez reposer l'étouffoir sur ces cordes, l'expérience ne réussit pas.

Dans cette expérience, le son d'une seule source sonore, la voix ébranle plusieurs cordes ; il se produit ainsi dans l'air un mouvement de même forme, et par suite aussi de même timbre que le son primitif.

Jusqu'ici nous n'avons parlé que de la réunion d'ondes de différentes longueurs. Nous allons maintenant réunir des ondes d'égales longueurs, se propageant dans la même direction. Le résultat sera tout différent, selon que les montagnes des unes se superposent aux montagnes des autres, ce qui donne naissance à des montagnes de hauteur double et à des vallées deux fois plus profondes, ou qu'au contraire les montagnes des unes comblent les vallées des autres. Si les deux systèmes d'ondes ont la même hauteur, de manière que les montagnes suffisent pour combler les vallées, les montagnes et les vallées disparaîtront en même temps ; les deux ondes se détruiront réciproquement. De même que deux ondes d'eau, deux ondes d'air peuvent aussi se détruire réciproquement, lorsque les

parties condensées de l'une se superposent aux parties condensées de l'autre. Ce curieux phénomène de la destruction d'un son par un son de même nature s'appelle l'interférence du son.

La sirène que nous avons décrite plus haut permet d'étudier facilement ce phénomène. Si l'on dispose la boîte supérieure de manière que les deux porte-vent produisent en même temps le son des séries de 12 trous, les deux porte-vent se renforcent réciproquement, et l'on entend un son plein et fort correspondant à la série 12. Si l'on dispose au contraire le porte-vent supérieur de façon que les pulsations supérieures se produisent pendant que les trous inférieurs sont fermés, et réciproquement, le son disparaît, et l'on n'entend plus que très-faiblement le premier harmonique, supérieur d'une octave, qui n'est pas détruit par l'interférence, dans ces circonstances.

L'interférence nous conduit aux battements. Lorsque deux sons entendus au même instant font des vibrations de durée complétement identique, leurs montagnes se rencontrent toujours si elles se sont superposées au commencement ; et si elles ne se superposent pas dès l'origine, elles ne se superposent plus jamais.

Les deux sons se renforceront ou s'affaibliront continuellement. Si les durées des vibrations des deux sons ne sont égales qu'à peu près, leurs montagnes peuvent se rencontrer à l'origine, et se renforcer ainsi réciproquement ; mais peu à peu les montagnes de l'un des sons devanceront celles de l'autre. Il arrivera des moments où les montagnes de l'un se placeront dans les vallées de l'autre ; plus tard les montagnes qui s'avancent le plus rapidement atteindront de nouveau les montagnes de l'autre son : ces rencontres se traduisent pour l'oreille par des augmentations et des affaiblissements du son, auxquels on donne le nom de *battements*. On entend souvent des battements lorsque deux instruments qui ne sont pas complétement à l'unisson

donnent la même note. Un piano faux, dans lequel les deux ou trois cordes frappées par une même touche ne s'accordent plus exactement, les fait entendre distinctement. Des battements lents et réguliers font un très-bon effet dans les chants d'église : tantôt ils s'écoulent comme des vagues majestueuses, entre les voûtes élevées des cathédrales ; tantôt, par un léger tremblement, ils communiquent au son un caractère spécial de ferveur et d'émotion. Plus les différences de durée des vibrations sont grandes, plus les battements sont rapides. Tant qu'il n'y a que 4 à 6 battements par seconde, l'oreille distingue facilement les variations successives de l'intensité du son. Lorsque les battements sont encore plus rapides, le son devient strident. Un son strident est un son divisé par des interruptions rapides, un son semblable au son de la lettre *r* que nous produisons en interrompant le son de la voix par des tremblements du palais ou de la langue.

Lorsque ces battements deviennent encore plus rapides, il devient difficile à l'oreille de les entendre, mais le son garde une certaine rudesse. Finalement, ils deviennent tout à fait imperceptibles, et se transforment, comme les sensations isolées qui composent un son, en une sensation sonore continue [1].

Ainsi tout son musical provoque dans le nerf acoustique une sensation d'une durée régulière ; deux sons inégalement hauts se contrarient et se divisent en sensations sonores distinctes, qui font naître dans le nerf acoustique une irritation discontinue. Ils produisent sur l'oreille un effet désagréable, analogue à celui que produisent, sur les autres organes, des excitations intermittentes se succédant très-rapidement. Je ne citerai que l'action d'une lumière vacillante ou scintillante sur l'œil, ou la sensation que pro-

1. M. Helmholtz a montré ce passage des battements en une dissonance rude, à l'aide de deux tuyaux d'orgue, dont il faussait l'un de plus en plus.

duit le frottement d'une brosse sur la peau. Cette sensation est la plus désagréable pour l'oreille, lorsque les deux notes sont séparées d'un ton ou d'un demi-ton, lorsque les notes de la gamme moyenne donnent environ 20 à 40 pulsations par seconde. Lorsque les deux sons diffèrent d'un ton entier, la rudesse est moindre ; lorsque la différence est une tierce, elle disparaît tout à fait, au moins dans les parties supérieures de l'échelle musicale. C'est pour cela qu'on peut regarder la tierce comme une consonnance. Lorsque les deux sons fondamentaux sont tellement différents l'un de l'autre, qu'ils ne puissent plus produire de battements perceptibles, leurs harmoniques peuvent donner naissance à des battements et rendre le son rude. Par exemple, lorsque deux sons forment une quinte, c'est-à-dire lorsque dans un même temps l'un fait 2, l'autre 3 vibrations, chacun d'eux compte parmi ses harmoniques un son faisant pendant le même temps 6 vibrations. Si le rapport des sons fondamentaux est exactement de 2 à 3, les deux harmoniques de 6 vibrations sont parfaitement égaux, et ne troublent pas la consonnance des sons principaux ; si ce rapport de 2 à 3 n'est pas parfait, les deux harmoniques ne sont plus identiques, font des battements, et le son devient rude.

On a souvent l'occasion d'entendre des battements de quintes fausses, parce que, sur le piano comme sur l'orgue, toutes les quintes sont fausses. Cette fausseté tient à la manière dont nous les accordons ; d'ailleurs ces battements ne se suivent que lentement. En dirigeant convenablement l'attention, ou mieux, en se servant d'un résonnateur convenable, on reconnaît facilement que l'harmonique en question exécute des battements. Ces battements sont naturellement plus faibles que ceux des sons fondamentaux, puisque les harmoniques sont eux-mêmes plus faibles. Quoique, dans la plupart des cas, nous n'ayons pas parfaitement conscience de l'existence de ces harmoniques

et de leurs battements, l'oreille perçoit cependant leur effet comme inégalité ou rudesse du son total, tandis qu'une quinte parfaitement juste, pour laquelle les nombres de vibrations des deux sons sont exactement dans le rapport de 2 à 3, sonne d'une manière parfaitement régulière, sans changement, sans accroissement ni affaiblissement d'intensité, sans aucune rudesse. Nous avons déjà vu plus haut comment la sirène peut nous servir à démontrer très-simplement que la quinte la plus parfaite correspond exactement à ce rapport de 2 à 3; nous venons de trouver les causes de la rudesse produite par le moindre changement dans ce rapport.

De même aussi des sons dont les nombres de vibrations sont dans le rapport de 3 à 4 ou de 4 à 5, c'est-à-dire des sons qui forment une quinte juste ou une tierce juste, sonnent plus agréablement que des sons qui s'éloignent de ces rapports. Ainsi un son donné, pris comme son fondamental, ne doit être accompagné que de sons bien déterminés, si l'on veut éviter l'inégalité ou la rudesse du son, ou au moins produire avec ce son un accord moins rude que les intervalles un peu plus élevés ou un peu plus bas.

Ce sont là les raisons qui forcent la musique moderne, qui est basée principalement sur l'harmonie des notes consonnantes, à n'employer que des sons bien déterminés. On peut même montrer comment, dans la musique ancienne, qui ne s'appuyait pas sur cette harmonie, les harmoniques qui accompagnent tous les sons nouveaux pouvaient faire porter de préférence les progrès sur certains intervalles définis, et comment un même harmonique commun à deux notes d'une mélodie donne à ces deux sons une espèce de parenté que l'oreille perçoit et qui peut servir de lien artistique entre eux. Le temps me presse trop pour que je puisse vous développer ces idées; nous serions obligés de nous reporter trop en arrière dans l'histoire de la musique.

Je me bornerai à vous dire qu'il existe encore une autre

espèce de sons accompagnant les sons fondamentaux, les *sons résultants*, qu'on n'entend que quand deux ou plusieurs sons de différentes hauteurs sont produits en même temps, et que, dans certaines circonstances, ces sons résultants peuvent produire des battements et donner de la rudesse au son total. Si, à l'aide d'une sirène ou de tuyaux d'orgue, ou sur un violon, on donne la tierce ut_3, mi_3 (rapport des nombres de vibrations 4 à 5), on entend faiblement le son résultant ut_1, de deux octaves au-dessous de ut_3. Ce même ut_1 résonne lorsqu'on donne en même temps les notes mi_3 et sol_3 (rapport des nombres de vibrations 5 : 6).

Si maintenant on donne en même temps les trois notes ut_3, mi_3, sol_3; si leurs vibrations sont entre elles comme 4 : 5 : 6, on entend deux sons résultants ut_1, parfaitement à l'unisson et sans battements. Mais si les trois notes ne sont accordées exactement comme l'exigent ces rapports, les sons résultants ut_1 ne sont pas à l'unisson et donnent des battements.

Les sons résultants sont, en général, plus faibles que les sons harmoniques, et, par suite, leurs battements sont moins sensibles et moins rudes que ceux des sons harmoniques; on ne les perçoit bien que dans des sons qui n'ont presque pas d'harmoniques, comme ceux des tuyaux d'orgue fermés et de la flûte. Mais on ne saurait nier que, justement pour ces raisons, dans un morceau de musique harmonique exécuté sur de semblables instruments, on saisit à peine une différence entre l'harmonie et la dissonance; le morceau n'a plus aucun caractère, et semble mou à notre oreille. Tous les timbres musicaux sont relativement très-riches en harmoniques; ils contiennent presque toujours les cinq premiers harmoniques, les octaves, les quintes et les tierces du son fondamental. Dans les jeux d'orgue on ajoute au tuyau qui donne le son fondamental des tuyaux accessoires correspondant à la série des harmoniques du son fondamental; on obtient ainsi un timbre plus pénétrant et plus

vigoureux pour accompagner le chant des fidèles. Il est donc impossible de méconnaître le rôle important que jouent les sons harmoniques dans l'effet artistique de la musique.

Nous voici arrivés au cœur de l'étude de l'harmonie. La consonnance se distingue de la dissonance, parce que, dans un accord consonnant, les divers sons se propagent aussi régulièrement que si chacun d'eux était seul, tandis que dans la dissonance les sons ont quelque chose d'incompatible qui fait qu'ils se décomposent mutuellement en pulsations. Vous allez voir comme tous les phénomènes que nous avons passés en revue concordent vers ce résultat. Tout d'abord le phénomène des chocs ou des battements repose sur l'interférence des mouvements ondulatoires; il n'a pu s'ajouter au son que parce que le son lui-même est un mouvement ondulatoire. D'un autre côté, pour établir les intervalles consonnants, il fallait que l'oreille eût la faculté de percevoir les sons harmoniques, et de résoudre, d'après le principes de Fourier, les systèmes d'ondes composées en ondes simples. Une conséquence nécessaire du principe de Fourier, c'est que les harmoniques des sons musicaux soient avec le son fondamental dans le même rapport que les nombres entiers avec l'unité, et que les rapports des nombres de vibrations soient des nombres très-petits. Pour nous faire une idée de cette propriété physiologique de l'oreille, nous allons la comparer à l'œil. La lumière est, elle aussi, un mouvement ondulatoire d'un milieu particulier répandu dans l'espace, de l'éther lumineux; la lumière aussi nous montre des phénomènes d'interférence. La lumière a des ondes de durées variables que l'œil perçoit comme autant de couleurs différentes : les oscillations les plus lentes correspondent au rouge ; viennent aussi l'orangé, le jaune, le vert, le bleu et le violet, dont les oscillations durent à peu près moitié moins de temps que le rouge extrême. Mais l'œil ne peut pas séparer des systèmes composés d'on-

des lumineuses : il les perçoit comme une sensation simple, non décomposable ; il voit un mélange des différentes couleurs. Aussi lui est-il complétement indifférent que le mélange contienne ou non des couleurs fondamentales dont les nombres de vibrations aient entre eux des relations simples. L'œil n'a pas, comme l'oreille, le sens de l'harmonie ; il n'a pas de musique.

Les philosophes pensent que la beauté de l'art consiste dans la représentation extérieure des lois cachées de notre raison. J'ai essayé de vous découvrir la loi cachée qui régit l'harmonie des combinaisons musicales. C'est réellement une loi dont nous n'avons pas conscience, en ce sens qu'elle s'applique aux harmoniques, qui sont bien sentis par le nerf acoustique, mais qui cependant n'entrent pas dans le domaine de la perception consciente ; nous sentons qu'ils nous affectent agréablement ou désagréablement, sans savoir sur quoi se fonde notre sensation.

La sensation de l'accord musical pur n'est certainement que le premier degré de la beauté musicale. La consonnance et la dissonance ne sont, par rapport à la beauté intellectuelle de la musique, que des moyens, mais des moyens réels et puissants. Dans la dissonance, le nerf acoustique est tourmenté par les chocs de sons incompatibles ; il désire entendre la concordance paisible et pure de sons harmonieux ; il se sent attiré vers la consonnance, et lorsqu'il la trouve, il s'y complaît. La consonnance et la dissonance ralentissent ou activent alternativement l'écoulement des sons, et notre intelligence admire, dans leurs mouvements invisibles, l'image de ses propres idées et de ses propres sentiments. Elle saisit le mouvement rhythmique toujours varié des ondes sonores, comme sur le bord de la mer elle admire le mouvement des vagues. Dans ce dernier spectacle, l'observateur, en présence de forces naturelles mécaniques agissant aveuglément, n'emporte finalement qu'une impression de désert ; dans l'exécution d'une œuvre artistique, les

mouvements suivent au contraire les flots de pensées de l'âme de l'artiste. Tantôt les ondes sonores s'écoulent doucement, tantôt elles sautillent agréablement, tantôt elles ont tous les accents de la passion ; elles font passer avec leur vigueur primitive les sentiments inconnus que l'artiste a dérobés à son âme, dans celle de l'auditeur, qu'elles transportent dans les régions de l'éternelle beauté qu'un petit nombre de favoris de la Divinité a reçu mission de nous faire connaître.

Mais ici s'arrête la science, et je termine ma conférence.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES

Préface 1

CHAPITRE I. Nature du son 3
— 1. Mouvements périodiques, vibrations. — 2. Vibrations sonores. — 3. Vibrations d'une cloche. — 4. Vibrations des diapasons, méthode graphique. — 5. Vibrations des cordes. — 6. Vibrations des lames ou membranes. — 7. Vibrations de l'air dans des tuyaux sonores. — 8. Méthode des flammes manométriques. — 9. Conclusion.

CHAPITRE II. Propagation du son 25
1. Transmission du son. — 2. Propagation dans l'air. — 3. Dans l'eau et dans d'autres corps. — 4. Vitesse du son dans l'air. — 5. Dans l'eau et dans d'autres corps. — 6. Réflexion du son. — 7. Écho.

CHAPITRE III. Intensité du son 39
1. Caractères du son et différence entre le son et le bruit. — 2. Intensité du son et causes diverses dont elle dépend. — 3. Principe de la concomitance des sons. — 4. Caisses harmoniques et résonnateurs.

CHAPITRE IV. La hauteur du son 50
1. Mesure du nombre des vibrations, méthode graphique. — 2. Sirène de Cagniard Latour. — 3. Hauteur du son ; limites des sons perceptibles, des sons musicaux et de la voix humaine. — 4. Diapason normal. — 5. Loi des vibrations des cordes et des sons harmoniques.

CHAPITRE V. Les sons et les accords musicaux 62
1. Sons musicaux. — 2. Loi des rapports simples. — 3. Unisson, interférences. — 4. Battements. — 5. Leur explication. — 6. Sons résultants. — 7. Octave et autres sons harmoniques. — 8. Accords consonnants et leur limite. — 9. Quinte, quarte, sixte et tierce majeures, tierce et sixte mineures. — 10. Le septième harmonique.

CHAPITRE VI. Sirène d'Helmholtz — accords parfaits..... 81
1. Sirène double de Helmholtz. — 2. Loi des rapports simples appliquée à trois sons et plus. — 3. Accords parfaits majeur et mineur, leurs caractères. — 4. Renversement des accords.

CHAPITRE VII. Histoire des gammes..... 92
1. Accords dissonants. — 2 et 3. Caractère de la musique et des gammes musicales. — 4. Musique antique. — 5. Gammes grecques. — 6. Gamme pythagoricienne. — 7. Sa décadence. — 8. Chant ambrosien et grégorien. — 9. Musique polyphonique, harmonie; la réforme protestante; Palestrina. — 10. Transformations des gammes musicales, la tonique et l'accord fondamental. — 11. Gamme majeure; intervalles musicaux. — 12. Gamme mineure. — Intonations et notes de passage. — 14 et 15. Dièses et bémols. — 16. Gamme tempérée, ses inexactitudes. — 17. Nécessité de l'abandonner.

CHAPITRE VIII. Le timbre..... 124
1. Timbre des sons musicaux. — 2. Forme des vibrations, méthode optique. — 3. Autre méthode optique. — 4. Méthode du phonautographe. — 5. Loi des sons harmoniques. — 6. Timbre des cordes et des instruments. — 7. Loi générale sur les accords. — 8. Bruits qui accompagnent les sons. — 9. Timbre des voyelles.

CHAPITRE IX. Les écoles musicales..... 149
1. Différence entre la science et l'art. — 2. Musique italienne et allemande. — 3 et 4. Distinction des deux écoles. — 5. Influence de Paris. — 6. Conclusion.

DEUXIÈME PARTIE

Causes physiologiques de l'harmonie musicale..... 161

Coulommiers. — Typog. Albert PONSOT et P. BRODARD.

LIBRAIRIE

GERMER BAILLIÈRE & Cie

CATALOGUE

DES

LIVRES DE FONDS

LIVRES SCIENTIFIQUES

JANVIER 1877

PARIS

PROVISOIREMENT, 8, PLACE DE L'ODÉON, 8

La Librairie sera transférée 108, boulevard Saint-Germain,
le 1er octobre 1877

BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE

INTERNATIONALE

La *Bibliothèque scientifique internationale* n'est pas une entreprise de librairie ordinaire. C'est une œuvre dirigée par les auteurs mêmes, en vue des intérêts de la science, pour la populariser sous toutes ses formes, et faire connaître immédiatement dans le monde entier les idées originales, les directions nouvelles, les découvertes importantes qui se font chaque jour dans tous les pays. Chaque savant exposera les idées qu'il a introduites dans la science et condensera pour ainsi dire ses doctrines les plus originales.

On pourra ainsi, sans quitter la France, assister et participer au mouvement des esprits en Angleterre, en Allemagne, en Amérique, en Italie, tout aussi bien que les savants mêmes de chacun de ces pays.

La *Bibliothèque scientifique internationale* ne comprend pas seulement des ouvrages consacrés aux sciences physiques et naturelles, elle aborde aussi les sciences morales comme la philosophie, l'histoire, la politique et l'économie sociale, la haute législation, etc.; mais les livres traitant des sujets de ce genre se rattacheront encore aux sciences naturelles, en leur empruntant les méthodes d'observation et d'expérience qui les ont rendues si fécondes depuis deux siècles.

Cette collection paraît à la fois en français, en anglais, en allemand, en russe et en italien : à Paris, chez Germer Baillière et Cie ; à Londres, chez Henry S. King et Co; à New-York, chez Appleton; à Leipzig, chez Brockhaus; à Saint-Pétersbourg, chez Koropchevski et Goldsmith, et à Milan, chez Dumolard frères.

EN VENTE :

VOLUMES IN-8, CARTONNÉS A L'ANGLAISE A 6 FRANCS

Les mêmes, en demi-reliure, veau. — 10 francs.

J. TYNDALL. **Les glaciers et les transformations de l'eau**, avec figures. 1 vol. in-8. 2e édition. 6 fr.

MAREY. **La machine animale**, locomotion terrestre et aérienne, avec de nombreuses figures. 1 vol. in-8. 2e édition. 6 fr.

BAGEHOT. **Lois scientifiques du développement des nations** dans leurs rapports avec les principes de la sélection naturelle et de l'hérédité. 1 vol. in-8, 2e édition. 6 fr.

BAIN. **L'esprit et le corps.** 1 vol. in-8, 2e édition. 6 fr.

PETTIGREW. **La locomotion chez les animaux**, marche, natation. 1 vol. in-8 avec figures. 6 fr.

HERBERT SPENCER. **La science sociale**. 1 vol. in-8. 3e éd. 6 fr.

VAN BENEDEN. **Les commensaux et les parasites dans le règne animal**. 1 vol. in-8, avec figures. 6 fr.

O. SCHMIDT. **La descendance de l'homme et le darwinisme**. 1 vol. in-8 avec figures, 2e édition. 6 fr.

MAUDSLEY. **Le Crime et la Folie**. 1 vol. in-8, 2e édition. 6 fr.

BALFOUR STEWART. **La conservation de l'énergie**, suivie d'une étude sur la nature de la force, par *M. P. de Saint-Robert*, avec figures. 1 vol. in-8, 2e édition. 6 fr.

DRAPER. **Les conflits de la science et de la religion**. 1 vol. in-8, 3e édition. 6 fr.

SCHUTZENBERGER. **Les fermentations**. 1 vol. in-8, avec fig. 2e édition. 6 fr.

L. DUMONT. **Théorie scientifique de la sensibilité**. 1 vol. in-8. 6 fr.

WHITNEY. **La vie du langage**. 1 vol. in-8. 2e éd. 6 fr.

COOKE ET BERKELEY. **Les champignons**. 1 v. in-8, avec fig. 6 fr.

BERNSTEIN. **Les sens**. 1 vol. in-8, avec 91 figures. 2e édit. 6 fr.

BERTHELOT. **La synthèse chimique**. 1 vol. in-8, 2e édit. 6 fr.

VOGEL. **La photographie et la chimie de la lumière**, avec 95 fig. 1 vol. in-8. 6 fr.

LUYS. **Le cerveau et ses fonctions**, avec figures. 1 vol. in-8, 2e édition. 6 fr.

STANLEY JEVONS. **La monnaie et le mécanisme de l'échange**. 1 vol. in-8. 6 fr.

FUCHS. **Les volcans**. 1 vol. in-8, avec figures dans le texte et une carte en couleurs. 6 fr.

GÉNÉRAL BRIALMONT. **Les camps retranchés et leur rôle dans la défense des États**, avec fig. dans le texte et 2 planches hors texte. 6 fr.

DE QUATREFAGES. **L'espèce humaine**. 1 vol. in-8. 6 fr.

BLASERNA. **Le son et la musique**. 1 vol. in-8, avec fig. 6 fr.

OUVRAGES SUR LE POINT DE PARAITRE :

BALBIANI. **Les Infusoires.**

BROCA. **Les primates.**

CLAUDE BERNARD. **Histoire des théories de la vie.**

É. ALGLAVE. **Les principes des constitutions politiques.**

FRIEDEL. **Les fonctions en chimie organique.**

LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE & Cie

8, PLACE DE L'ODÉON, 8

RÉCENTES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Pathologie médicale.

BOTKIN. **Des maladies du cœur.** Leçons de clinique médicale faites à l'Université de Saint-Pétersbourg. 1872, in-8. 3 fr. 50

BOTKIN. **De la fièvre.** Leçons de clinique médicale faites à l'Université de Saint-Petersbourg. 1872, in-8. 4 fr. 50

BOUCHUT. **Histoire de la médecine et des doctrines médicales.** 1873, 2 vol. in-8. 16 fr.

BOUCHUT. **Diagnostic des maladies du système nerveux par l'ophthalmoscopie.** 1866, 1 vol. in-8 avec atlas colorié. 9 fr.

BOUCHUT ET DESPRÉS. **Dictionnaire de médecine et de thérapeutique médicale et chirurgicale**, comprenant le résumé de la médecine et de la chirurgie, les indications thérapeutiques de chaque maladie, la médecine opératoire, les accouchements, l'oculistique, l'odontotechnie, les maladies d'oreilles, l'électrisation, la matière médicale, les eaux minérales, et un formulaire spécial pour chaque maladie. 2e édition, très-augmentée. 1 vol. in-4 avec 754 figures dans le texte.

Broché. 25 fr.
Cartonné. 27 fr.
Relié. 29 fr.

DESPRÉS. **Traité théorique et pratique de la syphilis**, ou infection purulente syphilitique. 1873, 1 vol. in-8. 7 fr.

DURAND-FARDEL. **Traité pratique des maladies chroniques.** 1868, 2 vol. gr. in-8. 20 fr.

DURAND-FARDEL. **Traité thérapeutique des eaux minérales** de France et de l'étranger, et de leur emploi dans les maladies chroniques. 2e édit., 1862, 1 vol. in-8 de 774 pages avec carte coloriée. 9 fr.

DURAND-FARDEL. **Traité pratique des maladies des vieillards.** 1873, 2e édition. 1 fort vol. gr. in-8. 14 fr.

GARNIER. **Dictionnaire annuel des progrès des sciences et institutions médicales**, suite et complément de tous les dictionnaires. 1 vol. in-12 de 500 pages.

— 12e année, 1876. 7 fr.

GINTRAC (E.). **Cours théorique et clinique de pathologie interne et de thérapie médicale.** 1853-1859, 9 vol. gr. in-8. 63 fr.

Les tomes IV et V se vendent séparément. 14 fr.

Les tomes VI et VII (*Maladies du système nerveux*) se vendent séparément. 14 fr.

Les tomes VIII et IX (*Maladies du système nerveux*, suite) se vendent séparément. 14 fr.

GINTRAC. **Traité théorique et pratique des maladies de l'appareil nerveux.** 1872, 4 vol. gr. in-8. 28 fr.

GOUBERT. **Manuel de l'art des autopsies cadavériques,** surtout dans ses applications à l'anatomie pathologique, précédé d'une lettre de M. le professeur Bouillaud. 1867, in-18 de 520 pages avec 145 figures dans le texte. 6 fr.

HÉRARD ET CORNIL. **De la phthisie pulmonaire,** étude anatomo. pathologique et clinique. 1867, 1 vol. in-8 avec fig. dans le texte et planches coloriées. 10 fr.

LANCEREAUX. **Traité théorique et pratique de la syphilis.** 2e édition, 1874, 1 vol. gr. in-8 avec figures et planches coloriées. 17 fr.

MOREAU (de Tours). **Traité pratique de la folie névropathique** (*vulgo* hystérique). 1869, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

MUNARET. **Le Médecin des villes et des campagnes.** 4e édition. 1862, 1 vol. gr. in-8. 4 fr. 60

NIEMEYER. **Éléments de pathologie interne et de thérapeutique,** traduits de l'allemand, annotés par M. Cornil. 1873, 3e édition française augmentée de notes nouvelles. 2 vol. gr. in-8. 14 fr.

ONIMUS ET LEGROS. **Traité d'électricité médicale.** 1 fort vol. in-8, avec de nombreuses figures intercalées dans le texte. 1872. 12 fr.

TARDIEU. **Manuel de pathologie et de clinique médicales.** 4e édition, corrigée et augmentée. 1873, 1 vol. gr. in-18. 8 fr.

Pathologie chirurgicale.

ANGER (Benjamin). **Traité iconographique des maladies chirurgicales,** précédé d'une introduction par M. le professeur Velpeau. 1866, in-4.

Chaque livraison est composée de huit planches et du texte correspondant.

Prix. 12 fr.

Tous les exemplaires sont coloriés. — La première partie (Luxations et Fractures) est terminée ; elle est composée de 12 livraisons et demie (100 planches contenant 254 figures et 127 bois), et coûte, reliée. 150 fr.

BILLROTH. **Traité de pathologie chirurgicale générale,** traduit de l'allemand, précédé d'une introduction par M. le professeur VERNEUIL. 1874, 2e tirage, 1 fort vol. gr. in-8, avec 100 fig. dans le texte. 14 fr.

DONDERS. **L'astigmatisme** et les verres cylindriques, traduit du hollandais par le docteur H. DOR, médecin à Vevey. 1862, 1 vol. in-8 de 144 pages. 4 fr. 50

JAMAIN. **Manuel de petite chirurgie.** 1873, 5e édition, refondue. 1 vol. gr. in-18 de 1000 pages avec 450 fig. 8 fr.

JAMAIN ET TERRIER. **Manuel de pathologie et de clinique chirurgicales.** 1876, 3e édition. Tome I, 1 fort vol. in-18. 8 fr.

LE FORT. **La chirurgie militaire** et les sociétés de secours en France et à l'étranger. 1872, 1 vol. gr. in-8 avec fig. 10 fr.

LIEBREICH (Richard). **Atlas d'ophthalmoscopie** représentant l'état normal et les modifications pathologiques du fond de l'œil visibles à l'ophthalmoscope, composé de 14 planches contenant 60 figures tirées en chromolithographie, accompagnées d'un texte explicatif et dessinées d'après nature. 1870, 2e édition. 1 vol. in-folio. 30 fr.

MALGAIGNE. **Manuel de médecine opératoire.** 8e édition, publiée par M. le professeur Léon Le Fort. I. OPÉRATIONS GÉNÉRALES, 1873, 1 vol. grand in-18 avec 335 figures dans le texte. 7 fr.

MAUNOURY ET SALMON. **Manuel de l'art des accouchements** à l'usage des élèves en médecine et des élèves sages-femmes. 1874, 3e édit., 1 vol. in-18 avec 115 grav. 7 fr.

NÉLATON. **Éléments de pathologie chirurgicale**, par M. A. Nélaton, membre de l'Institut, professeur de clinique à la Faculté de médecine, etc.

Seconde édition complétement remaniée.

TOME PREMIER, rédigé par M. le docteur Jamain, chirurgien des hôpitaux. 1 fort vol. gr. in-8. 9 fr.

TOME SECOND, rédigé par le docteur Péan, chirurgien des hôpitaux. 1 fort vol. in-8 avec 288 fig. dans le texte. 13 fr.

TOME TROISIÈME, rédigé par M. le docteur Péan. 1 vol. gr. in-8 avec figures. 14 fr.

TOME QUATRIÈME, 1er fascicule, rédigé par M. le docteur Péan. 1 vol. gr. in-8 avec figures. 7 fr.

PAGET (Sir James). **Leçons de clinique chirurgicale**, traduites de l'anglais par le docteur L. H. Petit, et précédées d'une introduction de M. le professeur Verneuil. 1 vol. grand in-8 (1877). 8 fr.

PÉAN. **Leçons de clinique chirurgicale** professées à l'hôpital Saint-Louis pendant l'année 1874 et le premier semestre de 1875. 1 fort vol. in-8, avec 40 figures intercalées dans le texte et 4 planches coloriées hors texte. 1876. 20 fr.

PHILLIPS. **Traité des maladies des voies urinaires**. 1860, 1 fort vol. in-8 avec 97 fig. intercalées dans le texte. 10 fr.

SCHWEIGGER. **Leçons d'ophthalmoscopie**, traduites de l'allemand par M. le docteur Herschell, avec 3 planches lith. et des figures dans le texte. 1868, in-8 de 144 pages. 3 fr. 50

SŒLBERG-WELLS. **Traité pratique des maladies des yeux**. 1873, 1 fort vol. gr. in-8 avec figures. Traduit de l'anglais. 15 fr.

VIRCHOW. **Pathologie des tumeurs**, cours professé à l'Université de Berlin, traduit de l'allemand par le docteur Aronssohn.

Tome I, 1867, 1 vol. in-8 avec 106 figures intercalées dans le texte. 12 fr.

Tome II, 1869, 1 vol. in-8 avec 80 fig. dans le texte. 12 fr.

Tome III, 1872, 1 vol. in-8 avec 60 fig. dans le texte. 12 fr.

Tome IV, 1er fascicule. 1876, 1 vol. in-8 avec figures dans le texte. 4 fr. 50

Thérapeutique. — Pharmacie. — Hygiène.

BINZ. **Abrégé de matière médicale et de thérapeutique**, traduit de l'allemand par MM. Alquier et Courbon. 1872. 1 vol. in-12 de 335 pages. 2 fr. 50

BOUCHARDAT. **Nouveau Formulaire magistral**, précédé d'une Notice sur les hôpitaux de Paris, de généralités sur l'art de formuler, suivi d'un Précis sur les eaux minérales naturelles et artificielles, d'un Mémorial thérapeutique, de notions sur l'emploi des contre-poisons, et sur les secours à donner aux empoisonnés et aux asphyxiés. 1876, 20e édition, revue, corrigée. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

Cartonné à l'anglaise. 4 fr.

BOUCHARDAT. **Formulaire vétérinaire**, contenant le mode d'action, l'emploi et les doses des médicaments simples et composés prescrits aux animaux domestiques par les médecins vétérinaires français et étrangers, et suivi d'un Mémorial thérapeutique. 1862, 2e édit. 1 vol. in-18. 4 fr. 50

BOUCHARDAT. **Manuel de matière médicale, de thérapeutique comparée et de pharmacie.** 1873, 5e édition, 2 vol. gr. in-18. 16 fr.

BOUCHARDAT. **Annuaire de thérapeutique, de matière médicale et de pharmacie pour 1877,** contenant le résumé des travaux thérapeutiques et toxicologiques publiés pendant l'année 1876, et suivi d'un Mémoire de M. Bouchardat sur l'étiologie thérapeutique. 1 vol. grand in-32. 1 fr. 50

BOUCHARDAT. **De la glycosurie ou diabète sucré,** son traitement hygiénique. 1875. 1 vol. grand in-8, suivi de notes et documents sur la nature et le traitement de la goutte, la gravelle urique, sur l'oligurie, le diabète insipide avec excès d'urée, l'hippurie, la pimelorrhée, etc. 15 fr.

CORNIL. **Leçons élémentaires d'hygiène privée,** rédigées d'après le programme du ministre de l'instruction publique pour les établissements d'instruction secondaire. 1873, 1 vol. in-18 avec fig. 2 fr. 50

DESCHAMPS (d'Avallon). **Compendium de pharmacie pratique.** Guide du pharmacien établi et de l'élève en cours d'Études, comprenant un traité abrégé des sciences naturelles, une pharmacologie raisonnée et complète, des notions thérapeutiques, et un guide pour les préparations chimiques et les eaux minérales; un abrégé de pharmacie vétérinaire, une histoire des substances médicamenteuses, etc.; précédé d'une introduction par M. le professeur Bouchardat. 1868, 1 vol. gr. in-8 de 1160 pages environ. 20 fr.

Anatomie. — Physiologie. — Histologie.

BAIN (Al.). **Les sens et l'intelligence,** traduit de l'anglais par M. Cazelles. 1873, 1 fort vol. in-8. 10 fr.

BÉRAUD (B. J.). **Atlas complet d'anatomie chirurgicale topographique,** pouvant servir de complément à tous les ouvrages d'anatomie chirurgicale, composé de 109 planches représentant plus de 200 gravures dessinées d'après nature par M. Bion, et avec texte explicatif. 1865, 1 fort vol. in-4.

Prix : fig. noires, relié. 60 fr.
— fig. coloriées, relié. 120 fr.

BÉRAUD (B. J.) ET ROBIN. **Manuel de physiologie de l'homme et des principaux vertébrés.** 1856-1857, 2 vol. gr. in-18, 2e édition, entièrement refondue. 12 fr.

BÉRAUD (B. J.) ET VELPEAU. **Manuel d'anatomie chirurgicale générale et topographique.** 1862, 2e édit. 1 vol. in-8 de 622 pages. 7 fr.

BERNARD (Claude). **Leçons sur les propriétés des tissus vivants** faites à la Sorbonne, rédigées par Émile Alglave, avec 94 fig. dans le texte. 1866, 1 vol. in-8. 8 fr.

BERNSTEIN. **Les sens.** 1875. 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scient. intern.*, avec fig. Cart. 6 fr.

CORNIL ET RANVIER. **Manuel d'histologie pathologique.** 2 vol. in-18 avec de nombreuses figures dans le texte. 1869-1876. 16 fr.

DURAND (de Gros). **Essais de physiologie philosophique.** 1866, 1 vol. in-8. 8 fr.

DURAND (de Gros). **Ontologie** et psychologie physiologique. Études critiques. 1871, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

DURAND (de Gros). **Origines animales de l'homme,** éclairées par la physiologie et l'anatomie comparative. Grand in-8, 1871, avec figures. 5 fr.

FAU. **Anatomie des formes du corps humain**, à l'usage des peintres et des sculpteurs. 1866, 1 vol. in-8 avec atlas in-folio de 25 planches.
Prix : fig. noires. 20 fr.
— fig. coloriées. 35 fr.

JAMAIN. **Nouveau traité élémentaire d'anatomie descriptive et de préparations anatomiques.** 3e édition, 1867, 1 vol. grand in-18 de 900 pages avec 223 fig. intercalées dans le texte. 12 fr.
Avec figures coloriées. 40 fr.

LEYDIG. **Traité d'histologie comparée de l'homme et des animaux**, traduit de l'allemand par le docteur Lahillonne. 1 fort vol. in-8 avec 200 figures dans le texte. 1866. 15 fr.

LONGET. **Traité de physiologie.** 3e édition, 1873.
Tome I, 1 fort vol. gr. in-8 avec fig. 12 fr.
Tome II, 1 fort vol. gr. in-8 avec fig. 12 fr.
Tome III et dernier, 1 vol. gr. in-8 avec fig. 12 fr.

LOTZE. **Principes généraux de psychologie physiologique.** 1 vol. in-18 de la *Bibloth. de philosop. contemp.* 2 fr. 50

LUYS. **Le cerveau, ses fonctions.** 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scient. intern.*, avec fig. Cart. 6 fr.

MAREY. **Du mouvement dans les fonctions de la vie.** 1868, 1 vol. in-8 avec 200 figures dans le texte. 10 fr.

MAREY. **La machine animale.** 1873, 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scientifique internationale*, cartonné avec luxe. 6 fr.

MOLESCHOTT (J.). **La circulation de la vie**, lettres sur la physiologie en réponse aux Lettres sur la chimie de Liebig, traduit de l'allemand par M. le docteur Cazelles. 2 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 5 fr.

ROBIN (Ch.) et POUCHET. **Journal de l'anatomie et de la physiologie** normales et pathologiques de l'homme et des animaux, dirigé par MM. le professeur Ch. Robin (de l'Institut) et G. Pouchet, maître de conférences à l'École normale supérieure, paraissant tous les deux mois par livraison de 6 à 7 feuilles gr. in-8 avec planches.
Prix de l'abonnement, pour la France. 20 fr.
— pour l'étranger. 24 fr.

SCHIFF. **Leçons sur la physiologie de la digestion**, faites au Muséum d'histoire naturelle de Florence. 2 vol. gr. in-8. 20 fr.

VULPIAN. **Leçons de physiologie générale et comparée du système nerveux**, faites au Muséum d'histoire naturelle, recueillies et rédigées par M. Ernest Brémond. 1866, 1 fort vol. in-8. 10 fr.

VULPIAN. **Leçons sur l'appareil vaso-moteur** (physiologie et pathologie), recueillies par le Dr H. Carville. 2 vol. in-8 (1875). 18 fr.

Physique. — Chimie. — Histoire naturelle.

AGASSIZ. **De l'espèce et des classifications en zoologie.** 1 vol. in-8. 5 fr.

ARCHIAC (d'). **Leçons sur la faune quaternaire**, professées au Muséum d'histoire naturelle. 1865, 1 vol. in-8. 3 fr. 50

BERTHELOT. **La synthèse chimique.** 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scient. intern.* 2e édit., 1876. Cart. 6 fr.

BLANCHARD. **Les métamorphoses, les mœurs et les instincts des insectes**, par M. Émile Blanchard, de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle. 1 magnifique volume in-8 jésus, avec 160 figures intercalées dans le texte et 40 grandes planches hors texte. 2e édition, 1877. Prix. broché. 25 fr.
Relié en demi-maroquin. 30 fr.

BLANQUI. **L'éternité par les astres**, hypothèse astronomique. 1872, in-8. 2 fr.

BOCQUILLON. **Manuel d'histoire naturelle médicale.** 1871, 1 vol. in-18 avec 415 fig. dans le texte. 14 fr.

COOKE ET BERKELEY. **Les champignons**, avec 110 figures dans le texte. 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scientifique internationale.* 6 fr.

FAIVRE. **De la variabilité de l'espèce.** 1868, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

FUCHS. **Les volcans**, 1 vol. in-8 de la *Bibl. scient. intern.* 1876. Cart. 6 fr.

GRÉHANT. **Manuel de physique médicale.** 1869, 1 vol. in-18 avec 469 figures dans le texte. 7 fr.

GRÉHANT. **Tableaux d'analyse chimique** conduisant à la détermination de la base et de l'acide d'un sel inorganique isolé, avec les couleurs caractéristiques des précipités. 1862, in-4, cart. 3 fr. 50

GRIMAUX. **Chimie organique élémentaire**, leçons professées à la Faculté de médecine. 1872, 1 vol. in-18 avec figures. 4 fr. 50

GRIMAUX. **Chimie inorganique élémentaire.** 1874, 1 vol. in-18 avec fig. 5 fr.

GROVE. **Corrélation des forces physiques**, traduit par M. l'abbé Moigno, avec des notes par M. Séguin aîné. 1 vol. in-8. 7 fr. 50

HENRY (Ossian) père et fils. **Traité pratique d'analyse chimique des eaux minérales** potables et économiques, avec leurs principales applications à l'hygiène et à l'industrie, etc. 1859, 1 vol. in-8 de 680 pages avec 131 figures intercalées dans le texte. 12 fr.

LUBBOCK. **L'homme préhistorique**, étudié d'après les monuments et les costumes retrouvés dans les différents pays de l'Europe, suivi d'une description comparée des mœurs des sauvages modernes, traduit de l'anglais par M. Ed. Barbier, avec 256 figures intercalées dans le texte. 1876, 2e édit., augmentée d'une conférence de M. Broca, sur les *Tryglodites de la Vezère.* 1 vol. in-8, broché. 15 fr.
Cartonnage riche. 18 fr.

LUBBOCK. **Origines de la civilisation**, état primitif de l'homme et mœurs des sauvages modernes, traduit de l'anglais. 1873, 1 vol. in-8 avec fig. 15 fr.

QUATREFAGES (de). **Charles Darwin et ses précurseurs français.** Étude sur le transformisme. 1870, 1 vol. in-8. 5 fr.

RICHE. **Manuel de chimie médicale.** 1870, 1 vol. in-18 avec 200 fig. dans le texte. 7 fr.

SAIGEY. **Les sciences au XVIIIe siècle.** La physique de Voltaire. 1873, 1 vol. in-8. 5 fr.

SCHUTZENBERGER. **Les fermentations**, avec figures dans le texte. 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scientifique internationale.* 2e édit., 1876. Cartonné. 6 fr.

TYNDALL. **Les glaciers et les transformations de l'eau.** 1873, 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scientifique internationale*, cartonné avec luxe. 2e édit., 1876. 6 fr.

SMEE. **Mon jardin.** Géologie, botanique, histoire naturelle, culture, traduit sur la 2e édition anglaise par Ed. Barbier. 1 magnifique volume grand in-8 jésus, contenant 1300 gravures et 25 planches hors texte (1876), broché. 15 fr
Cartonnage riche, tranches dorées. 20 fr.

VAN BENEDEN. **Les commensaux et les parasites du règne animal.** 1875, 1 vol. in-8 avec figures, de la *Bibliothèque scientifique internationale.* Cartonné. 6 fr.

VOGEL. **La photographie et la chimie de la lumière.** 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scient. intern.*, avec fig. Cart. 6 fr.

LIVRES SCIENTIFIQUES

PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE

On peut se procurer tous les ouvrages qui se trouvent dans ce Catalogue par l'intermédiaire des libraires de France et de l'Étranger.

On peut également les recevoir FRANCO par la poste, sans augmentation des prix désignés, en joignant à la demande des TIMBRES-POSTE ou un MANDAT sur Paris.

AGASSIZ. **De l'espèce et de la classification en zoologie**, traduit de l'anglais par M. VOGELI, édition remaniée par l'auteur. 1869. 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque de Philosophie contemporaine*. 5 fr.

ALLIX. **De l'alimentation des nouveau-nés.** 1868, in-8. 1 fr.

AMUSSAT. (Alph.). **De l'emploi de l'eau en chirurgie.** 1850, in-4. 2 fr.

AMUSSAT (Alph.). **Mémoires sur la galvanocaustique thermique.** 1 vol. in-8, avec 44 fig. intercalées dans le texte. 1876. 3 fr. 50

AMUSSAT (Alph.). **Des sondes à demeure et du conducteur en baleine.** 1 brochure in-8, avec fig. dans le texte. 1876. 1 fr. 25

ANGER (Benjamin), **Plaies pénétrantes de poitrine.** 1 brochure in-4. 2 fr.

ANGER (Benjamin). **Traité iconographique des maladies chirurgicales**, précédé d'une introduction par M. le professeur VELPEAU. 1866, in-4. 1re partie : luxations et fractures. 150 fr.

ANGLADA. **Traité des eaux minérales** et des établissements thermaux des Pyrénées-Orientales. 1833, 2 vol. in-8. 4 fr. 50

Annales d'oculistique. — Tables générales, dressées par le docteur WARLOMONT, des tomes I à XXX. 1838 à 1858, 1 vol. in-8. 3 fr.

Annales de la Société d'hydrologie médicale de Paris. — Comptes rendus des séances de 1854 à 1874. 19 vol. in-8. 133 fr.

ARCHIAC (d'). **Leçons sur la faune quaternaire**, professées au Muséum d'histoire naturelle. 1865, 1 vol. in-8. 3 fr. 50

ARRÉAT. **Éléments de philosophie médicale**, ou Théorie fondamentale de la science des faits médico-biologiques. 1858, 1 vol. in-8. 7 fr. 50

ARRÉAT. **De l'homœopathie**, simples réflexions propres à servir de réponse aux objections contre cette méthode de guérison. 1850, in-8. 1 fr. 50

ARTIGUES. **Amélie-les-Bains, son climat et ses thermes**, comprenant un aperçu historique sur l'ancienneté des thermes, sur l'état actuel de la station et les améliorations qu'elle comporte, la topographie, l'analyse des eaux sulfureuses et leur mode d'action dans les maladies. 1864, 1 vol. in-8 de 267 pages. 3 fr. 50

AUBER (Édouard). **Traité de la science médicale** (histoire et dogme), comprenant : 1° un précis de méthodologie et de médecine préparatoire; 2° un résumé de l'histoire de la médecine, suivi de notices historiques et critiques sur les écoles de Cos, d'Alexandrie, de Salerne, de Paris, de Montpellier et de Strasbourg; 3° un exposé des principes généraux de la science médicale, renfermant les éléments de la pathologie générale. 1853, 1 fort vol. in-8. 8 fr.

AUBER (Éd.). **Hygiène des femmes nerveuses**, ou conseils aux femmes pour les époques critiques de leur vie. 1844, 2e édit., 1 vol. gr. in-18. 3 fr. 50

AUBER (Éd.). **De la fièvre puerpérale devant l'Académie de médecine**, et des principes du vitalisme hippocratique appliqués à la solution de cette question. 1858, in-8. 3 fr. 50

AUBER (Éd.). **Philosophie de la médecine**. 1865, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine*. 2 fr. 50

AUBER (Éd.). **Institutions d'Hippocrate**, ou exposé dogmatique des vrais principes de la médecine, extraits de ses œuvres; renfermant : les dogmes de la science et de l'art, l'histoire naturelle des maladies, les règles de l'hygiène et de la thérapeutique, les éléments de la philosophie médicale et les premiers tableaux des maladies; précédées d'une notice historique et critique sur les livres hippocratiques et suivies d'une dissertation philosophique sur l'hippocratisme. 1864, 1 vol. gr. in-8 de luxe. 10 fr.

AXENFELD. **Des névroses**. 1 vol. in-8, 2e édition. (*Sous presse.*)

BAGEHOT. **Lois scientifiques du développement des nations**, dans leurs rapports avec les principes de la sélection naturelle et de l'hérédité. 2e édition, 1875, 1 vol. in-8, cartonné. 6 fr.

BAIN (Al.). **Les sens et l'intelligence**. 1873, 1 fort vol. in-8. 10 fr.

BAIN (Al.). **L'esprit et le corps**. 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scientifique internationale*, 2e édit. 1876, cartonné. 6 fr.

BALFOUR STEWART. **La conservation de l'énergie**, suivie d'une étude sur la nature de la force, par M. P. DE SAINT-ROBERT, avec fig. 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scientifique internationale*, 2e édition, 1876, cart. 6 fr.

BARTHEZ ET RILLET. **Traité clinique et pratique des maladies des enfants**. 1874. 3e édition (*Sous presse*).

BAUDON. **L'ovotomie abdominale** ou opération césarienne. In-8. 4 fr.

BAUDRIMONT. **Théorie de la formation du globe terrestre**, pendant la période qui a précédé l'apparition des êtres vivants. 1867, 1 vol. in-18. 2 fr. 50

BAUMÈS. **Précis théorique et pratique sur les maladies vénériennes**. 1840, 2 vol. in-8. 7 fr.

BECQUEREL. **Traité clinique des maladies de l'utérus et de ses annexes**, par M. L. A. BECQUEREL, médecin de l'hôpital de la Pitié, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris. 1859, 2 vol. in-8 de 1061 pages avec un atlas de 18 planches (dont 5 coloriées), représentant 44 figures. 20 fr.

BECQUEREL. **Traité des applications de l'électricité à la thérapeutique médicale et chirurgicale**. 1860, 2e édition, 1 vol. in-8. 7 fr.

BECQUEREL ET RODIER. **Traité de chimie pathologique appliquée à la médecine pratique**. 1854, 1 vol. in-8. 7 fr.

BÉRAUD (B.-J.). **Essai sur le cathétérisme du canal nasal**, suivant la méthode de Laforest, procédé nouveau. 1855, in-8 avec 4 figures. 2 fr. 50

BÉRAUD (B.-J.). **Recherches sur l'orchite et l'ovarite varioleuses**. 1859, in-8. 1 fr. 50

BÉRAUD (B.-J.). **Atlas complet d'anatomie chirurgicale topographique**, pouvant servir de complément à tous les ouvrages d'ana-

tomie chirurgicale, composé de 109 planches représentant plus de 200 gravures dessinées d'après nature par M. Bion, et avec texte explicatif. 1865, 1 fort vol. in-4.

Prix : fig. noires, relié. 60 fr.
— fig. coloriées, relié. 120 fr.

Ce bel ouvrage, auquel on a travaillé pendant sept ans, est le plus complet qui ait été publié sur ce sujet. Toutes les pièces, disséquées dans l'amphithéâtre des hôpitaux, ont été reproduites d'après nature par M. Bion, et ensuite gravées sur acier par les meilleurs artistes. Après l'explication de chaque planche, l'auteur a ajouté les applications à la pathologie chirurgicale, à la médecine opératoire, se rapportant à la région représentée.

Le même ouvrage, texte anglais, même prix.

BERAUD (B.-J.) ET VELPEAU. **Manuel d'anatomie chirurgicale générale et topographique**. 1862, 2e édition, 1 vol. in-18 de 622 pages. 7 fr.

BÉRAUD (B.-J.) ET ROBIN. **Manuel de physiologie de l'homme et des principaux vertébrés**. 1856-1857, 2 vol. gr. in-18, 2e édit., entièrement refondue. 12 fr.

BERGERET. **Philosophie des sciences cosmologiques**, critique des sciences et de la pratique médicale. 1866, in-8 de 310 p. 4 fr.

BERGERET. **Petit manuel de la santé**. 1 vol. in-18 avec 50 fig. dans le texte. 7 fr.

BERGERET. **De l'urine**, chimie physiologique et microscopie pratique. 1868, 1 vol. in-18. 4 fr. 50

BERNARD (Claude). **Leçons sur les propriétés des tissus vivants** faites à la Sorbonne, rédigées par M. Émile ALGLAVE, avec 94 fig. dans le texte. 1866, 1 vol. in-8. 8 fr.

BERNSTEIN. **Les organes des sens**. 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scient. intern.*, avec 91 figures. Cart. 6 fr.

BERT (Paul). **Projet de loi sur l'organisation de l'enseignement supérieur**. 1872, in-8. 2 fr.

BERTAULD. **Introduction à la connaissance des causes premières. De la méthode**. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

BERTET. **Des parasites de l'homme** tant internes qu'externes, et des moyens qu'il convient d'employer pour les détruire. 1866, in-8 de 55 pages. 1 fr. 50

BERTET. **Pathologie et chirurgie du col utérin**. 1866, in-8 de 96 pages. 2 fr. 50

BERTHELOT. **La synthèse chimique**. 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scient. intern.* 2e édition, 1876. Cart. 6 fr.

BERTON. **Guide et questionnaire** de tous les examens de médecine avec les réponses des examinateurs eux-mêmes aux questions les plus difficiles suivi de programmes de conférences pour l'externat et l'internat, avec de grands tableaux synoptiques inédits d'anatomie et de pathologie. 1 vol. in-18, 2e édition, 1877. 3 fr. 50

BERTRAND. **Traité du somnambulisme**, et des différentes modifications qu'il présente. 1823, 1 vol. in-8. 7 fr.

BERTULUS (Évar.). **Marseille et son intendance militaire**, à propos de la peste, de la fièvre jaune, du choléra et des événements de Saint-Nazaire (Loire-Inférieure), en 1861. 1864, 1 vol. gr. in-8 de 500 pages. 7 fr.

BEYRAN. **Éléments de pathologie générale.** 1863, 1 vol. gr. in-18. 3 fr. 50

BILLROTH. **Traité de pathologie chirurgicale générale**, traduit de l'allemand, précédé d'une introduction par M. VERNEUIL. 1 fort vol. gr. in-8 avec 100 fig. dans le texte. 14 fr.

BINZ. **Abrégé de matière médicale et de thérapeutique**, traduit de l'allemand par J. Alquier et Courbon, internes des hôpitaux de Lyon. 1872, 1 vol. in-18. 2 fr. 50

BLANCHARD. **Les métamorphoses, les mœurs et les instincts des insectes**, par M. Émile BLANCHARD, de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle. 1877, 2e éd. 1 magnifique vol. grand in-8 jésus avec 160 fig. intercal. dans le texte et 40 gr. pl. hors texte.
Broché. 25 fr. — Relié demi-maroquin. 30 fr.

BLANQUI. **L'éternité par les astres.** 1872, in-8 de 78 pages. 2 fr.

BLATIN. **Recherches physiologiques et cliniques sur la nicotine et le tabac**, précédé d'une introduction sur la méthode expérimentale en thérapeutique. 1870, gr. in-8. 4 fr.

BOCQUILLON. **Manuel d'histoire naturelle médicale.** 1871, 2 vol. in-18 avec 415 fig. dans le texte. 14 fr.

BOCQUILLON. **Revue du groupe des verbénacées**, recherche des types, organogénie, organographie, classification, description des genres. 1863, 1 vol. gr. in-8 de 186 pages avec 20 planches gravées sur acier. 15 fr.

BOCQUILLON. **Anatomie et physiologie des organes reproducteurs des champignons et des lichens.** 1869, in-4. 2 fr. 50

BOCQUILLON. **Mémoire sur le groupe des tillacées**, 1867, gr. in-8 de 48 pages. 2 fr.

BOSSU. **Nouveau compendium médical à l'usage des médecins-praticiens**, contenant : 1° la pathologie générale ; 2° un dictionnaire de pathologie interne, avec l'indication des formules les plus usitées dans le traitement des maladies ; 3° dictionnaire de thérapeutique, avec la définition de toutes les préparations pharmaceutiques. 1874, 5e édition, 1 vol. gr. in-18. 7 fr.

BOSSU. **Traité des plantes médicinales indigènes**, précédé d'un cours de botanique. 3e édition. 1872, 1 vol. in-8 et atlas de 60 planches représentant 1100 figures
Prix : fig. noires. 13 fr.
— fig. coloriées. 22 fr.

BOSSU. **Nouveau dictionnaire d'histoire naturelle et des phénomènes de la nature.** 1857-59, 3 vol. in-4 avec 1370 fig. 27 fr.

BOSSU. **Anthropologie**, ou étude des organes, fonctions et maladies de l'homme et de la femme. 2 forts vol. in-8 avec atlas de 20 planches. 1870, 6e édition.
Prix : avec atlas noir. 15 fr.
— avec atlas colorié. 21 fr.

BOTKIN. **Des maladies du cœur.** Leçons de clinique médicale faites à l'Université de Saint-Pétersbourg. 1870, in-8. 3 fr. 50

BOTKIN. **De la fièvre.** Leçons de clinique médicale faites à l'Université de Saint-Pétersbourg. 1872, in-8. 4 fr. 50

BOUCHARDAT. **Annuaire de thérapeutique, de matière médicale, de pharmacie et de toxicologie**, de 1841 à 1876, conte-

nant le résumé des travaux thérapeutiques et toxicologiques publiés de 1840 à 1875, et les formules des médicaments nouveaux, suivi de Mémoires divers de M. le professeur Bouchardat.

La collection complète se compose de 36 années et 3 suppléments. 39 vol. grand in-32.

Prix des années 1841 à 1873, et des suppléments, chacune 1 fr. 25
— — 1874 à 1877, — 1 fr. 50

1841. — Monographie du diabète sucré.
1842. — Observations sur le diabète sucré et mémoire sur une maladie nouvelle, l'*hippurie*.
1843. — Mémoire sur la digestion.
1844. — Recherches et expériences sur les contre-poisons du sublimé corrosif, du plomb, du cuivre et de l'arsenic.
1845. — Mémoire sur la digestion des corps gras.
1846. — Recherches sur des cas rares de chimie pathologique, et mémoire sur l'action des poisons et de substances diverses sur les plantes et les poissons.
1846, supplément. — 1° Trois mémoires sur les fermentations.
2° Un mémoire sur la digestion des substances sucrées et féculentes, et des recherches sur les fonctions du pancréas.
3° Un mémoire sur le diabète sucré ou glycosurie.
4° Note sur les moyens de déterminer la présence et la quantité de sucre dans les urines.
5° Notice sur le pain de gluten.
6° Note sur la nature et le traitement physiologique de la phthisie.
1847. — Mémoire sur les principaux contre-poisons et sur la thérapeutique des empoisonnements, et diverses notices scientifiques.
1848. — Nouvelles observations sur la glycosurie, notice sur la thérapeutique des affections syphilitiques, et mémoire sur l'influence des nerfs pneumogastriques dans la digestion.
1849. — Mémoire sur la thérapeutique du choléra.
1850. — Mémoire sur la thérapeutique des affections syphilitiques et observations sur l'affaiblissement de la vue coïncidant avec les maladies dans lesquelles la nature de l'urine est modifiée.
1851. — Mémoire sur la pathogénie et la thérapeutique du rhumatisme articulaire aigu.
1852. — Mémoire sur le traitement de la phthisie et du rachitisme par l'huile de foie de morue.
1856. — Mémoires : 1° sur les amidonneries insalubres ; 2° sur le rôle des matières albumineuses dans la nutrition.
1856, supplément. — 1° Histoire physiologique et thérapeutique de la cinchonine ;
2° Rapports sur les remèdes proposés contre la rage ;
3° Recherches sur les alcaloïdes dans les veines ;
4° Solution alumineuse benzinée ;
5° La table alphabétique des matières contenues dans les annuaires de 1841 à 1855, rédigée par M. le docteur Ramon.
1857. — Mémoire sur l'oligosurie, avec des considérations sur la polyurie.
1858. — Mémoire sur la genèse et le développement de la fièvre jaune.
1859. — Rapports sur les farines falsifiées, le pain bis et le vin plâtré.
1860. — Mémoire sur l'infection déterminée dans le corps de l'homme par la fermentation putride des produits morbides ou excrémentitiels. Des désinfectants qui peuvent être employés pour prévenir cette infection.
1861. — Mémoire sur l'emploi thérapeutique externe du sulfate simple d'alumine et de zinc, par M. le docteur Homolle.
1861, supplément. — 1° Mémoire sur l'étiologie et la prophylaxie de la tuberculisation pulmonaire ;
2° Etude sur les mucédinées parasites qui nuisent le plus à l'homme ;
3° Considérations et documents sur l'entraînement des pugilistes ;
4° Mémoire sur la pimélorrhée ;
5° Instruction pour l'usage de l'uromètre de M. Bouchardat.
1862. — Deux conférences faites aux ouvriers sur l'usage et l'abus des liqueurs fortes et des boissons fermentées.
1863. — Mémoire sur les eaux potables.
1864. — Trois notes sur l'origine et la nature de la vaccine ; sur l'inoculation et sur le traitement de la syphilis.
1865. — Mémoire sur l'exercice forcé dans le traitement de la glycosurie.
1866. — Mémoire sur les poisons, les venins, les virus, les miasmes spécifiques dans leurs rapports avec les ferments.
1867. — Mémoire sur la gravelle.
1868. — Mémoire sur le café.
1869. — Mémoire sur la production de l'urée. — Mémoire sur l'étiologie de la glycosurie.
1870. — Mémoire sur la goutte.
1871-72. — Mémoire sur l'état sanitaire de Paris et de Metz pendant le siége.

1873. — Mémoire sur l'étiologie du typhus.
1874. — Mémoire sur l'hygiène du soldat.
1875. — Mémoire sur l'hygiène thérapeutique des maladies.
1876. — Mémoire sur le traitement hygiénique des maladies chroniques et des convalescences.
1877. — Mémoire sur l'étiologie thérapeutique.

BOUCHARDAT. **Supplément à l'Annuaire de thérapeutique**, etc., pour 1846, contenant des mémoires : 1° sur les fermentations; 2° sur la digestion des substances sucrées et féculentes et sur les fonctions du pancréas, par MM. Bouchardat et Sandras ; 3° sur le diabète sucré ou glycosurie ; 4° sur les moyens de déterminer la présence et la quantité de sucre dans les urines ; 5° sur le pain de gluten ; 6° sur la nature et le traitement physiologique de la phthisie. 1 vol. gr. in-32. 1 fr. 25

BOUCHARDAT. **Supplément à l'Annuaire de thérapeutique**, etc., pour 1856, contenant : 1° l'histoire physiologique et thérapeutique de la cinchonine ; 2° rapport sur les remèdes proposés contre la rage ; 3° recherches sur les alcaloïdes dans les urines ; 4° solution alumineuse benzinée ; 5° la table alphabétique des matières contenues dans les Annuaires de 1841 à 1855, rédigée par M. Ramon. 1 vol. in-32. 1 fr. 25

BOUCHARDAT. **Supplément à l'Annuaire de thérapeutique pour 1861**, contenant : 1° un mémoire sur l'étiologie et la prophylaxie de la phthisie pulmonaire ; 2° une étude sur les mucédinées parasites qui nuisent le plus à l'homme ; 3° des documents sur l'entraînement ; 4° une instruction pour l'usage de l'uromètre de M. Bouchardat. 1 vol. in-32. 1 fr. 25

BOUCHARDAT. **Nouveau formulaire magistral**, précédé d'une notice sur les hôpitaux de Paris, de généralités sur l'art de formuler, suivi d'un précis sur les eaux minérales naturelles et artificielles, d'un mémorial thérapeutique, de notions sur l'emploi des contre-poisons, et sur les secours à donner aux empoisonnés et aux asphyxiés. 1876, 20e édition, revue, corrigée d'après le *Codex*, augmentée de quatre notices sur les usages thérapeutiques du lait, du vin, sur les cures de petit-lait, de raisin, et de formules nouvelles. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
Cartonné. 4 fr.
Relié. 4 fr. 50

BOUCHARDAT. **Physique, avec ses principales applications.** 1851, 1 vol. gr. in-18 de 540 pages avec 230 fig. dans le texte. 3e édit. 2 fr. 50

BOUCHARDAT. **Histoire naturelle**, contenant la zoologie, la botanique, la minéralogie et la géologie. 1844, 2 vol. gr. in-18 avec 308 figures. 3 fr.

BOUCHARDAT. **Opuscules d'économie rurale**, contenant les engrais, la betterave, les tubercules de dahlia, les vignes et les vins, le lait, le pain, les boissons, l'alucite, la digestion et les maladies des vers à soie, les sucres, l'influence des eaux potables sur le goître, etc. 1851, 1 vol. in-8. 3 fr. 50

BOUCHARDAT. **Traité des maladies de la vigne.** 1853, 1 vol. in-8. 3 fr. 50

BOUCHARDAT. **Formulaire vétérinaire**, contenant le mode d'action, l'emploi et les doses des médicaments simples et composés, prescrits aux animaux domestiques par les médecins vétérinaires français et étrangers, et suivi d'un mémorial thérapeutique. 1862, 2e édit., 1 vol. in-18. 4 fr. 50

BOUCHARDAT. **Manuel de matière médicale**, de thérapeutique comparée et de pharmacie. 1873, 2 vol. gr. in-18, 5e édit. 16 fr.

BOUCHARDAT. **Le travail**, son influence sur la santé (conférences faites aux ouvriers). 1863, 1 vol. in-18. 2 fr. 50

BOUCHARDAT. **De la glycosurie ou diabète sucré**, son traitement hygiénique, suivi de notes et documents sur la nature et le traitement de la goutte, la gravelle urique, sur l'oligurie, le diabète insipide avec excès d'urée, l'hippurie, le pimelorrhée, etc. 1875, 1 v. gr. in-8. 15 fr.

BOUCHARDAT ET H. JUNOD. **L'eau-de-vie et ses dangers**, conférences populaires. 1 vol. in-18. 1 fr.

BOUCHARDAT ET QUEVENNE. **Du lait**, 1er fascicule, instruction sur l'essai et l'analyse du lait; 2e fascicule, des laits de femme, d'ânesse, de chèvre, de brebis, de vache. 1857, 1 vol. in-8. 6 fr.

BOUCHARDAT ET DELONDRE. **Quinologie**. Des quinquinas et des questions qui, dans l'état présent de la science et du commerce, s'y rattachent avec le plus d'actualité. 1854, 1 vol. gr. in-4, avec 23 pl. coloriées et 2 cartes. 40 fr.

BOUCHARDAT (Gustave). **Histoire générale des matières albuminoïdes**. Thèse d'agrégation. 1 vol. in-8, 1872. 2 fr. 50

BOUCHUT ET DESPRÉS. **Dictionnaire de médecine et de thérapeutique médicale et chirurgicale**, comprenant le résumé de la médecine et de la chirurgie, les indications thérapeutiques de chaque maladie, la médecine opératoire, les accouchements, l'oculistique, l'odontechnie, les maladies d'oreilles, l'électrisation, la matière médicale, les eaux minérales et un formulaire spécial pour chaque maladie. 2e édit. 1872, 1 fort vol. in-4 avec 800 fig. intercalées dans le texte.

Prix : broché. 25 fr.
— cartonné. 27 fr.
— relié. 29 fr.

BOUCHUT. **Diagnostic des maladies du système nerveux par l'ophthalmoscopie.** 1866, 1 vol. in-8 avec atlas de planches coloriées. 9 fr.

BOUCHUT. **Histoire de la médecine et des doctrines médicales.** 1873, 2 forts vol. in-8. 16 fr.

BOURDET (Eug.). **Vocabulaire des principaux termes de la philosophie positive** avec notes biographiques appartenant au calendrier positiviste, 1 vol. in-8, 1875 3 fr. 50

BOURDET (Eugène). **L'évolution de la médecine.** 1 brochure in-8, 1876. 1 fr. 50

BOURGUIGNON ET SANDRAS. **Traité pratique des maladies nerveuses.** 2e édition, corrigée et considérablement augmentée. 1860-1863, 2 vol. in-8. 12 fr.

BOUYER (Achille). **Étude médicale sur la station hivernale d'Amélie-les-Bains.** 1 vol. in-18, 1876. 1 fr. 50

BRÉMOND (E.). **De l'hygiène de l'aliéné.** 1871, br. in-8. 2 fr.

BRIALMONT (Général). **La défense des États et les camps retranchés.** 1 vol. in-8, avec fig. dans le texte et 2 planches hors texte, de la *Bibliot. scient intern.* Cart. 6 fr.

BRIERRE DE BOISMONT. **Des maladies mentales** (extrait de la pathologie médicale du professeur Requin). In-8 de 90 pages. 2 fr.

BRIERRE DE BOISMONT. **Des hallucinations**, ou histoire raisonnée des apparitions, des visions, des songes, de l'extase, du magnétisme et du somnambulisme. 1862, 3e édition très-augmentée. 1 vol. in-8. 7 fr.

BRIERRE DE BOISMONT. **Du suicide et de la folie suicide**, considérés dans leurs rapports avec la statistique, la médecine et la philosophie. 1865. 2e édition, 1 vol. in-8 de 680 pages. 7 fr.

BRIERRE DE BOISMONT. **Joseph Guislain**, sa vie et ses écrits, esquisses de médecine mentale. 1867, 1 vol. in-8. 5 fr.

BRIGHAM. **Quelques observations chirurgicales.** 1872, gr. in-8 de 102 pages, sur papier de Hollande avec 4 photographies hors exte. 5 fr.

BROC. **Essai sur les races humaines**, considérées sous les rapports anatomique et philosophique. 1836, 1 vol. in-8 avec 11 fig. 1 fr. 50

BROUSSAIS. **Recherches sur la fièvre hectique.** Paris, 1803, in-8. 1 fr.

BUCHNER (Louis). **Science et nature**, traduit de l'allemand, par A. Delondre. 1866, 2 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 5 fr.

Bulletins de la Société anatomique de Paris, rédigés par MM. Axenfeld, Bauchet, Bell, Bérard, Bourdon, Broca, Chassaignac, Demarquay, Denucé-Deville, Forget, Foucher, Giraldès, Gosselin, Lenoir, Leudet, Livois, Maréchal, Mercier, Pigné, Richard, Royer-Collard, Sestier, A. Tardieu, Thibault, Valleix, Vigla; années 1826 à 1834, 1837, 1838, 1840 à 1855, 26 vol. in-8.

Prix des années 1826 à 1834, chacune : 1 fr.

Prix des autres volumes, chacun : 2 fr.

BYASSON. **Essai sur les causes de dyspepsie** et sur leur traitement par l'eau minérale de Mauhourat (à Cauterets). 1874, in-8, 1 fr. 50

BYASSON (H.) ET FOLLET (A.). **Étude sur l'hydrate de chloral et le trichloracétate de soude.** 1871, in-8 de 64 pages. 2 fr.

CABADÉ. **Essai sur la physiologie des épithéliums.** 1867, in-8 de 88 pages avec 2 planches gravées. 2 fr. 50

CAHAGNET. **Abrégé des merveilles du ciel et de l'enfer**, de Swedenborg. 1855, 1 vol. gr. in-18. 3 fr. 50

CAHAGNET. **Arcanes de la vie future dévoilés**, où l'existence, la forme, les occupations de l'âme après sa séparation du corps sont prouvées par plusieurs années d'expériences au moyen de huit *Somnambules extatiques*, qui ont eu 80 perceptions de 36 personnes de diverses conditions, décédées à différentes époques, leurs signalements, conversations, renseignements. Preuves irrécusables de leur existence au monde spirituel. 1848-1860, 3 vol. gr. in-18. 15 fr.

CAHAGNET. **Encyclopédie magnétique spiritualiste**, traitant spécialement de faits physiologiques. Magie magnétique, swedenborgianisme, nécromancie, magie céleste. 1854 à 1862, 7 vol. gr. in-18. 28 fr.

CAHAGNET. **Études sur l'homme.** 1858, 1 vol. gr. in-18. 1 fr.

CAHAGNET. **Lettres odiques-magnétiques** du chevalier Reichenbach, traduites de l'allemand. 1833, 1 vol. in-18. 1 fr. 50

CAHAGNET. **Lumière des morts**, ou études magnétiques, philosophiques et spiritualistes, dédiées aux penseurs du XIXe siècle. 1851, 1 vol. gr. in-18. 5 fr.

CAHAGNET. **Magie magnétique**, ou traité historique et pratique de fascinations, de miroirs kabbalistiques, d'apports, de suspensions, de pactes, de charmes des vents, de convulsions, de possession, d'envoûtement, de sortiléges, de magie de la parole, de correspondances sympathiques et de nécromancie. 1858, 2e édit. 1 vol. gr. in-18. 7 fr.

CAHAGNET. **Révélations d'outre-tombe**, par les esprits Galilée, Hippocrate, Franklin, etc., sur Dieu, la préexistence des âmes, la création de la terre, l'astronomie, la météorologie, la physique, la métaphysique, la botanique, l'hermétisme, l'anatomie vivante du corps humain, la médecine, l'existence du Christ et du monde spirituel, les apparitions et les manifestations spirituelles du XIXe siècle. 1856, 1 vol. in-18. 5 fr.

CAHAGNET. **Sanctuaire du spiritualisme**, ou étude de l'âme humaine et de ses rapports avec l'univers, d'après le somnambulisme et l'extase. 1850, 1 vol. in-18. 5 fr.

CAHAGNET. **Traitement des maladies**, ou étude sur les propriétés médicinales de 150 plantes les plus connues et les plus usuelles, par l'extatique Adèle Maginot, avec une exposition des diverses méthodes de magnétisation. 1851, 1 vol. gr. in-18. 2 fr. 50

CAHAGNET. **Méditations d'un penseur**, ou mélanges de philosophie et de spiritualisme, d'appréciations, d'aspirations et de déceptions. 1861, 2 vol. in-18. 10 fr.

CARON. **Le code des jeunes mères.** Traité théorique et pratique pour l'éducation physique des nouveau-nés. 1859, 1 vol. in-8. 3 fr. 50

CARON. **La puériculture**, ou la science d'élever hygiéniquement et physiologiquement les enfants. 1866, in-18 de 280 pages. 3 fr. 50

CARON. **Guide pratique de l'alimentation hygiénique et physiologique au sein ou au biberon.** 1867, in-18 de 70 pages. 1 fr.

CARPON. **Voyage à Terre-Neuve.** 1852, 1 vol. in-8. 2 fr. 50

CARRIER. **Étude sur la localisation dans le cerveau de la faculté du langage articulé.** In-8 de 77 pages. 2 fr.

CARRIÈRE. **Recherches sur les eaux minérales sodo-bromurées de Salins.** 1856, in-12. 1 fr. 50

CASPER. **Traité pratique de médecine légale**, rédigé d'après des observations personnelles, par Jean-Louis Casper, professeur de médecine légale de la Faculté de médecine de Berlin; traduit de l'allemand sous les yeux de l'auteur, par M. Gustave Germer Baillière. 1862. 2 vol. in-8. Reliés. 20 fr.

CASTORANI. **Mémoire sur le traitement des taches de la cornée**, *néphélion*, *albugo* 1867, in-8. 1 fr.

CASTORANI. **Mémoire sur l'extraction linéaire externe de la cataracte.** 1874, in-8. 3 fr. 50

CAUSIT. **Étude sur les polypes du larynx chez les enfants, et en particulier sur les polypes congénitaux.** 1867, in-8 de 162 pages avec 3 planches lithographiées. 3 fr. 50

CHARBONNIER. **Maladies et facultés diverses des mystiques.** 1 vol. in-8, 1875. 5 fr.

CHARCOT et CORNIL. **Contributions à l'étude des altérations anatomiques de la goutte**, et spécialement du rein et des articulations chez les goutteux. 1864, in-8 de 30 pages avec pl. 1 fr. 50

CHARPIGNON. **Physiologie, médecine et métaphysique du magnétisme.** 1848, 1 vol. in-8 de 480 pages. 6 fr.

CHARPIGNON. **Considérations sur les maladies de la moelle épinière.** 1860, in-8. 1 fr.

CHARPIGNON. **Études sur la médecine animique et vitaliste.** 1864. 1 vol. gr. in-8 de 192 pages. 4 fr.

CHASERAY (Alexandre). **Conférences sur l'âge.** 1868, 1 vol. in-18. 1 fr. 50

CHAUFFARD. **Fragments de critique médicale**, Broussais, Magendie, Chomel. 1864, in-8 de 67 pages. 1 fr. 50

CHAUFFARD. **Laennec**, conférence faite à la Faculté de médecine, le 3 avril 1865. In-8 de 50 pages. 1 fr. 25

CHAUFFARD. **De la spontanéité et de la spécificité dans les maladies.** 1867, 1 vol. in-18 de 232 pages. 3 fr.

CHÉRUBIN. **De l'extinction des espèces**, études biologiques sur quelques-unes des lois qui régissent la vie. 1868, in-18. 2 fr. 50

CHEVALLIER (Paul). **De la paralysie des nerfs vaso-moteurs dans l'hémiplégie**. 1867, in-8 de 50 pages. 1 fr. 50

CHIPAULT (Antony). **De la résection sous-périostée dans la fracture de l'omoplate par armes à feu.** In-8 de 30 pages et 6 pl. 3 fr. 50

CHIPAULT. **Fractures par armes à feu**, expectation, résection sous-périostée, évidement, amputation. Paris, 1872, 1 vol. gr. in-8 avec 37 planches chromolithographiées. 25 fr.

CHOMET. **Effets et influence de la musique** sur la santé et sur la maladie. In-8. 3 fr.

CHRISTIAN (P.). **Histoire de la magie, du monde surnaturel** et de la fatalité à travers les temps et les peuples. 1 vol. gr. in-8 de 669 pages avec un grand nombre de figures et 16 planches hors texte. 15 fr.

CLÉMENCEAU. **De la génération des éléments anatomiques**, précédé d'une introduction par M. le professeur Robin. 1867, in-8. 5 fr.

Conférences historiques de la Faculté de médecine faites pendant l'année 1865 (*les Chirurgiens érudits*, par M. Verneuil. — *Guy de Chauliac*, par M. Follin. — *Celse*, par M. Broca. — *Wurtzius*, par M. Trélat. — *Rioland*, par M. Le Fort. — *Leuret*, par M. Tarnier. — *Harvey*, par M. Béclard. — *Stahl*, par M. Lasègue. — *Jenner*, par M. Lorain. — *Jean de Vier*, par M. Axenfeld. — *Laennec*, par M. Chauffard. — *Sylvius*, par M. Gubler. — *Stoll*, par M. Parrot). 1 vol. in-8. 6 fr.

COOKE ET BERKELEY. **Les champignons**, avec 110 figures dans le texte. 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scientifique internationale*. 1875. Cartonné. 6 fr.

CORLIEU. **La mort des rois de France** depuis François Ier jusqu'à la Révolution française. 1 vol. in-18, imprimé en caractères elzéviriens. 1873. 3 fr. 50

CORNAZ. **Des abnormités congénitales des yeux et de leurs annexes.** 1848, in-8. 1 fr. 50

CORNIL. **Des différentes espèces de néphrites.** 1869, in-8. 3 fr. 50

CORNIL. **Leçons élémentaires d'hygiène**, rédigées d'après le programme adopté par le ministre de l'instruction publique, à l'usage des établissements d'enseignement secondaire par V. Cornil, professeur agrégé à la Faculté de médecine, médecin des hôpitaux de Paris. 1 vol. in-18 avec 27 figures dans le texte. 2 fr. 50

CORNIL ET CHARCOT. Voy. CHARCOT.

CORNIL ET HÉRARD. Voy. HÉRARD.

CORNIL ET RANVIER. **Manuel d'histologie pathologique** : 2 vol. in-18 avec nombreuses figures dans le texte (1876). 16 fr

CORNIL ET RANVIER. **Contributions à l'étude du développement histologique des tumeurs épithéliales.** Br. in-8. 1 fr.

COSTER. **Manuel de médecine pratique basée sur l'expérience**, suivi de deux tableaux synoptiques des empoisonnements. 1837, 1 vol. in-18. 1 fr. 25

COSTES. **Histoire critique et philosophique de la doctrine physiologique.** 1849, 1 vol. in-8. 6 fr.

COUDRET. **Recherches médico-physiologiques sur l'électricité animale.** 1837, 1 vol. in-8. 7 fr.

DAMASCHINO. **Des différentes formes de pneumonie aiguë chez les enfants.** 1867, in-8 de 154 pages. 3 fr. 50

DAMASCHINO. **La pleurésie purulente.** 1869, in-8. 3 fr. 50

DAMASCHINO. **Étiologie de la tuberculose.** 1872, in-8 de 204 pages. 2 fr. 50

D'ARDONNE. **La philosophie de l'expression**, étude psychologique. 1871, 1 vol. in-8 de 352 pages. 8 fr.

D'ASSIER (Adolphe). **Physiologie du langage phonétique.** 1868, 1 vol. in-18. 2 fr. 50

D'ASSIER (Adolphe). **Physiologie du langage graphique.** 1868, in-18. 2 fr. 50

D'ASSIER (Adolphe). **Essai de philosophie positive au XIXe siècle.** Première partie : Le ciel. 1 vol. in-18. 2 fr. 50

DE CANDOLLE. **Organographie végétale**, ou description raisonnée des organes des plantes. 1844, 2 vol. in-8 avec 60 pl. représentant 422 fig. 8 fr.

DEGRAUX-LAURENT. **Études ornithologiques.** La puissance de l'aile, ou l'oiseau pris au vol. 1871, 1 vol. in-8 de 260 pages avec 5 pl. 5 fr.

DE LA SALZÈDE. **Lettres sur le magnétisme animal**, considéré sous le point de vue physiologique et psychologique. 1847, 1 vol. in-12. 2 fr. 50

DELAUNAY. **Conférence sur l'astronomie**, et en particulier sur le ralentissement du mouvement de rotation de la terre. 1866, in-18 avec 14 fig. 50 c.

DELAVILLE (aîné). **Cours pratique d'arboriculture fruitière** pour la région du nord de la France. 1872, 1 vol. in-8, illustré de 269 fig. 6 fr.

DELBŒUF. **La psychologie comme science naturelle.** 1 vol. in-8, 1876. 2 fr. 50

DELEUZE. **Histoire critique du magnétisme animal.** 2e édition, 1819, 2 vol. in-8. 9 fr.

DELEUZE. **Mémoire sur la faculté de prévision**, avec des notes et des pièces justificatives, et avec une certaine quantité d'exemples de prévisions recueillis chez les anciens et les modernes. 1836, in-8, br. 2 fr. 50

DELEUZE. **Instruction pratique sur le magnétisme animal**, précédé d'une notice sur la vie et les ouvrages de l'auteur, et suivi d'une lettre d'un médecin étranger. 1853, 1 vol. in-12. 3 fr. 50

DELMAS (Paul). **Mémoire sur l'anatomie et la pathologie du mamelon** dans leurs rapports avec l'allaitement. 1860, in-8. 1 fr.

DELMAS. **Étude pratique sur l'hydrothérapie.** 1re partie, de l'hydrothérapie à domicile, précédée de quelques considérations générales sur la théorie physiologique de cette méthode de traitement. 1869, in-8. 2 fr.

DELONDRE ET BOUCHARDAT. **Quinologie**, des quinquinas et des questions qui, dans l'état présent de la science et du commerce, s'y rattachent avec le plus d'actualité. 1854, 1 vol. gr. in-4 avec 23 pl. col. et 2 cartes. 40 fr.

DELPECH. **Chirurgie clinique de Montpellier**, ou observations et réflexions tirées des travaux de chirurgie clinique de cette école. 1823-1828, 2 vol. in-4. 16 fr.

DELVAILLE (Camille). **Étude sur l'histoire naturelle.** Première série, contenant : unité d'origine des races humaines; de l'alimentation par la viande de cheval ; l'œuvre d'Étienne Geoffroy Saint-Hilaire; biographie scientifique du XVIIIe siècle; les hommes à queue. 1862, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

DELVAILLE (Camille). **De la fièvre de lait**, étude critique et clinique, 1862, 1 vol. in-8 de 133 pages. 2 fr. 50

DELVAILLE (Camille). **De l'exercice de la médecine**, nécessité de réviser les lois qui la régissent en France, précédé d'une lettre de M. Jules Simon. 1865, 1 vol. in-8 de 144 pages. 2 fr.

DELVAILLE (Camille). **Lettres médicales sur l'Angleterre.** 1874, in-8. 1 fr. 50

DELY. **Extinction de la variole et du choléra.** 1874, in-8. 1 fr. 25

DE PUISAYE ET LECONTE. **Eaux d'Enghien**, au point de vue chimique et médical. 1853, 1 vol. in-8. 5 fr

DE QUATREFAGES. **Ch. Darwin et ses précurseurs français**, étude sur le transformisme. 1870, 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 5 fr.

DE QUATREFAGES. **L'espèce humaine**, 1 vol. in-8, de la *Bibl. scient. intern.* (1877). 6 fr

DESCHAMPS (d'Avallon). **Compendium de pharmacie pratique**, Guide du pharmacien établi et de l'élève en cours d'études, comprenant un traité abrégé des sciences naturelles, une pharmacologie raisonnée et complète, des notions thérapeutiques, et un guide pour les préparations chimiques et les eaux minérales ; un abrégé de pharmacie vétérinaire, une histoire des substances médicamenteuses, un traité de toxicologie, et une étude pratique des substances nécessaires à la photographie et à la galvanoplastie ; précédé d'une introduction par M. le professeur Bouchardat. 1868, 1 vol. gr. in-8 de 1150 pages environ. 20 fr.

DESCHAMPS (d'Avallon). **Manuel de pharmacie et Art de formuler**, contenant : 1° les principes élémentaires de pharmacie ; 2° des tableaux synoptiques : *a*, des substances médicamenteuses tirées des trois règnes, avec leurs doses et leurs modes d'administration ; *b*, des eaux minérales employées en médecine ; *c*, des substances incompatibles; 3° les indications pratiques nécessaires pour composer de bonnes formules; suivi d'un *Formulaire de toutes les préparations iodées* publiées jusqu'à ce jour, par M. Deschamps (d'Avallon), pharmacien de la maison impériale de Charenton. 1856, 1 vol. gr. in-18 avec 19 figures. 4 fr.

DESCHAMPS (d'Avallon). **Manuel pratique d'analyse chimique.** 1859, 2 vol, in-8 de 1034 pages, contenant, l'un l'analyse qualitative, l'autre l'analyse quantitative, avec 80 fig. intercalées dans le texte. 9 fr.

DESPRÉS (Arm.) ET BOUCHUT. Voy. BOUCHUT.

DESPRÉS (Arm.). **Traité théorique et pratique de la syphilis**, ou infection purulente syphilitique. 1873, 1 vol. in-8. 7 fr.

DEVERGIE (Alphonse). **Médecine légale théorique et pratique** avec le texte et l'interprétation des lois relatives à la médecine légale, revus et annotés par M. Dehaussy de Robécourt, conseiller à la cour de cassation. 1852, 3e édit. 3 vol. in-8. 23 fr.

Le premier volume traite : 1° certificats, rapports et consultations médico-légales; 2° responsabilité médicale ; 3° mariage ; 4° séparation de corps ; 5° grossesse ; 6° avortement ; 7° accouchement ; 8° paternité, maternité, naissances précoces et tardives, superfétation ; 9° supposition, substitution d'enfant ; 10° infanticides ; 11° attentats à la pudeur ; 12° maladies simulées ; 13° aliénation mentale.

Le second volume traite : 1° coups et blessures volontaires et involontaires ; 2° mort

subite ; 3° mort apparente ; 4° époque de la mort ; 5° putréfaction cadavérique ; 6° autopsie ; 7° exhumations ; 8° identité ; 9° suicide ; 10° asphyxie en général ; 11° asphyxie par submersion ; 12° pendaison et strangulation ; 13° combustion spontanée.

Le troisième volume traite les empoisonnements et toutes les questions de chimie gale.

DONDERS. **L'astigmatisme** et les verres cylindriques, par Donders, professeur à l'Université d'Utrecht, traduit du hollandais, par le docteur Dor, médecin à Vevey. 1862, 1 vol. in-8 de 144 pages. 4 fr. 50

DRAPER. **Les conflits de la science et de la religion.** 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scientifique internationale.* 3e édition, 1876. Cartonné. 6 fr.

DROGNAT-LANDRÉ. **De l'extraction de la cataracte.** 1869, gr. in-8. 1 fr.

DROGNAT-LANDRÉ. **De la contagion seule cause de la propagation de la lèpre.** 1869, in-8. 2 fr. 50

DUBOIS. **Matière médicale indigène,** ou Histoire des plantes médicinales qui croissent spontanément en France et en Belgique (ouvrage couronné par la Société de médecine de Marseille, en réponse à cette question : *Des ressources que la flore médicale indigène présente aux médecins de campagne*). 1848, 1 vol. in-8. 4 fr.

DUBOUCHET. **Maladies des voies urinaires et des organes de la génération,** contenant la rétention d'urine, les rétrécissements de l'urèthre, les maladies de la glande prostate, de la vessie, des testicules, des vésicules séminales et des conduits spermatiques, des reins et des uretères; la stérilité et l'impuissance; le diabète sucré ou glycosurie; la gravelle et les calculs de la vessie. 10e édition, 1851, 1 vol. in-8. 5 fr.

DUJARDIN-BAUMETZ. **De la myélite aiguë.** 1872, gr. in-8 de 163 pages. 2 fr. 50

DUMONT. **Hœckel et la théorie de l'évolution en Allemagne.** 1873. 1 vol. de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

DUMONT. **Théorie scientifique de la sensibilité.** Plaisir et douleur. 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scientifique internationale.* Cart. 6 fr.

DU POTET. **Thérapeutique magnétique,** règles de l'application du magnétisme à l'expérimentation pure et au traitement des maladies; spiritualisme; son principe et ses phénomènes. 1863, 1 vol. 12 fr.

DU POTET. **Traité complet de magnétisme,** cours en douze leçons. 4e édition. (*Sous presse.*)

DU POTET. **Manuel de l'étudiant magnétiseur,** ou Nouvelle instruction pratique sur le magnétisme, fondée sur *trente années* d'expérience et d'observations. 1869, 4e édition, 1 vol. gr. in-18. 3 fr. 50

DUPUYTREN. **Leçons orales de clinique chirurgicale** faites à l'Hôtel-Dieu de Paris, par le baron Dupuytren, chirurgien en chef, recueillies et publiées par MM. les docteurs Brierre de Boismont et Marx. 1839, 2e édition entièrement refondue, 6 vol. in-8. 10 fr.

DURAND (de Gros). **Essais de physiologie philosophique.** 1866, 1 vol. in-8. 8 fr.

DURAND (de Gros). **De l'influence des milieux sur les caractères de races, de l'homme et des animaux.** 1868, br. in-8. 1 fr. 50

DURAND (de Gros). **Ontologie et psychologie physiologique.** 1 vol. in-18. 1871. 3 fr. 50

DURAND (de Gros). **De l'hérédité dans l'épilepsie.** Paris, 1869, br. in-8 de 15 pages. 50 c.

DURAND (de Gros). **Les origines animales de l'homme,** éclairées par la physiologie et l'anatomie comparatives. 1871, 1 vol. in 8. 5 fr.

DURAND-FARDEL. **Traité pratique des maladies chroniques.** 1868, 2 vol. gr. in-8. 20 fr.

DURAND-FARDEL. **Traité thérapeutique des eaux minérales** de France et de l'étranger, et de leur emploi dans les maladies chroniques. 2e édit., 1862, 1 vol. in-8 de 774 pages avec carte color. 9 fr.

DURAND-FARDEL. **Traité pratique des maladies des vieillards.** 1873, 2e édition. 1 fort vol. gr. in-8 de 816 pages. 14 fr.

DURAND-FARDEL. **Lettres médicales sur Vichy.** 3e édition. 1866, 1 vol. in-18 de 250 pages. 2 fr. 50

DURAND-FARDEL. **Les eaux minérales et les maladies chroniques.** Leçons professées à l'École pratique. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

Éléments de science sociale ou religion physique sexuelle et naturelle, par un docteur en médecine, traduit sur la 7e édition anglaise. 1869, gr. in-18 de 600 pages. Cartonné. 4 fr.

ELIPHAS LEVI. **Histoire de la magie**, avec une exposition claire et précise de ses procédés, de ses rites et de ses mystères. 1860, 1 vol. in-8, avec 90 fig. 12 fr.

ELIPHAS LEVI. **La clef des grands mystères**, suivant Hénoch, Abraham, Hermès Trismégiste et Salomon. 1861, 1 vol. in-8 avec 22 pl. 12 fr.

ELIPHAS LEVI. **Dogme et rituel de la haute magie.** 1861, 2e éd. 2 vol. in-8 avec 24 fig. 18 fr.

ELIPHAS LEVI. **Philosophie occulte.** Fables et symboles, avec leur explication où sont révélés les grands secrets de la direction du magnétisme universel et des principes fondamentaux du grand œuvre. 1863, 1 vol. in-8. 7 fr.

ELIPHAS LEVI. **La science des esprits**, révélation du dogme secret des kabbalistes, esprit occulte des évangiles, appréciations des doctrines et des phénomènes spirites. 1865, in-8. 7 fr.

Enquête parlementaire sur les actes du gouvernement de la défense nationale, voir p. 48.

Enquête parlementaire sur l'insurrection du 18 mars 1871, édition contenant *in extenso* les trois volumes distribués à l'Assemblée nationale. 1 vol. in-4. 16 fr.

FABRE. **Dictionnaire des dictionnaires de médecine français et étrangers**, avec un vol. supplémentaire rédigé sous la direction du docteur Ambroise Tardieu. 1851, 9 vol. in-8. 25 fr.

FAIVRE (Ernest). **De la variabilité des espèces.** 1868, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

FAU. **Anatomie des formes du corps humain** à l'usage des peintres et des sculpteurs. 1866. 1 vol. in-8 avec atlas, in-folio de 25 pl.
Prix : fig. noires. 20 fr.
— coloriées. 35 fr.

FERMOND. **Études sur la symétrie**, considérée dans les trois règnes de la nature. 1855, in-8 de 54 pages. 2 fr. 50

FERMOND. **Études comparées des feuilles** dans les trois grands embranchements végétaux comprenant le principe de la trisection et les lois de leur formation et de leur composition, leur classification méthodique, l'explication rationnelle de certaines feuilles exceptionnelles, leur composition organographique et leur phytogénie. (Extrait du tome II de l'*Essai de phytomorphie*). 1864, 1 vol. in-8 avec 13 pl. 10 fr.

FERMOND. **Phytogénie**, ou théorie mécanique de la végétation. 1867. 1 vol. gr. in-8 de 708 pages avec 5 planches. 12 fr.

FERMOND. **Essai de phytomorphie**, ou étude des causes qui déterminent les principales formes végétales. 1864-1868, 2 vol. gr. in-8 avec nombreuses planches. 30 fr.

FERMOND. **Faits pour servir à l'histoire générale de la fécondation chez les végétaux.** In-8 de 45 pages. 2 fr.

FERRIÈRE (Émile). **Le darwinisme.** 1872, 1 vol. in-18 de 448 pages. 4 fr. 50

FLINT (Aug.). **Recherches expérimentales sur une nouvelle fonction du foie**, consistant dans une séparation de la cholestérine du sang et son élimination sous forme de stercorine. 1868, in-8. 2 fr.

FOISSAC. **Rapports et discussions à l'Académie royale de médecine sur le magnétisme animal**, avec des notes explicatives 1833, 1 vol. in-8. 7 fr. 50

FOLET (Henri). **De la résection du poignet.** 1869, in-8 de 90 pages. 2 fr.

FONVIELLE (W. de). **L'astronomie moderne.** 1869, 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

FOURCAULT. **Du choléra épidémique.** 1849, in-8, br. 1 fr.

FOURNIER. **Actes du congrès international de botanique, tenu à Paris en août 1867.** 1 vol. gr. in-8. 6 fr.

FOURNIER. **Etudes cliniques sur les douches oculaires et la glace**, appliquées au traitement des phlegmasies de l'œil. 1857. in-8. 1 fr. 25

FOY. **Traité de matière médicale et de thérapeutique**, appliquée à chaque maladie en particulier. 1843, 2 vol. in-8 de 1456 pages. 7 fr.

FOY. **Formulaire des médecins praticiens**, contenant : 1° les formules des hôpitaux civils et militaires, français et étrangers ; 2° l'examen et l'interrogation des malades; 3° un mémorial raisonné de thérapeutique ; 4° les secours à donner aux empoisonnés et aux asphyxiés ; 5° la classification des médicaments, d'après leurs effets thérapeutiques ; 6° un tableau des substances incompatibles ; 7° l'art de ormuler. 1844, 3e édition, 1 vol. in-18. 2 fr. 50

FOY. **Mémorial de thérapeutique à l'usage des médecins praticiens**, contenant : la médecine, la chirurgie, les accouchements. 1862, 1 vol. in-8 en deux parties, contenant 1250 pages. 14 fr

Cet ouvrage traite les maladies tant internes qu'externes. L'ordre suivi est l'ordre alphabétique, c'est le plus simple et le plus commode. Chaque affection est décrite ainsi qu'il suit : 1° la définition ; 2° les symptômes très-brièvement ; 3° le traitement avec de nombreux détails et toutes les formules et prescriptions spéciales.

FOY. **Choléra-morbus.** Premiers secours à donner aux cholériques avant l'arrivée du médecin. 1849, 1 vol. in-18. 1 fr.

FRÉDÉRIQ (Dr). **Hygiène populaire.** 1 vol. in-12. 4 fr.

FUCHS. **Les volcans**, 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scientifique internationale*, avec figures et une carte coloriée. 1876. cart. 6 fr.

FUMOUZE (A.). **De la cantharide officinale** (thèse de pharmacie). 1867, in-4 de 58 pages et 5 planches. 3 fr. 50

FUMOUZE (V.). **Les spectres d'absorption du sang** (thèse de doctorat). In-4 de 141 pages et 3 pl. 4 fr. 50

GAGE (Louis-Léon). **Les animaux nuisibles à l'homme et en particulier du Pulex penetrans.** 1867, 1 vol. gr. in-8 avec planche lithographiée. 2 fr. 50

GARCIN. **Le magnétisme expliqué par lui-même,** ou nouvelle théorie des phénomènes de l'état magnétique, comparée aux phénomènes de l'état ordinaire. 1855, 1 vol. in-8. 4 fr.

GARNIER. **Dictionnaire annuel des progrès des sciences et institutions médicales,** suite et complément de tous les dictionnaires, précédé d'une introduction par M. le docteur Amédée Latour. 1 vol. in-12 de 500 pages.

Prix de la	1re année 1864.	5 fr.
—	2e année 1865.	6 fr
—	3e année 1866.	6 fr
—	4e année 1867.	6 fr
—	5e année 1868.	6 fr
—	6e année 1869.	6 fr.
—	7e année 1870 et 1871.	7 fr.
—	8e année 1872.	7 fr.
—	9e année 1873.	7 fr.
—	10e année 1874.	7 fr.
—	11e année 1875.	7 fr.
—	12e année 1876.	7 fr.

GARNIER ET WAHU. Voy JAMAIN et WAHU.

GAULTIER DE CLAUBRY. **De l'identité du typhus et de la fièvre typhoïde.** 1844, 1 vol. in-8. 2 fr. 50

GAUSSAIL. **De la fièvre typhoïde,** de sa nature et de son traitement. Paris, 1839, in-8. 1 fr. 50

GAUTHIER. **Recherches historiques sur l'exercice de la médecine dans les temples,** chez les peuples de l'antiquité. 1844, 1 vol. in-12. 2 fr.

GAUTHIER. **Histoire du somnambulisme connu chez tous les peuples,** sous les noms divers d'extases, songes, oracles, visions. Examen des doctrines de l'antiquité et des temps modernes, sur ses causes, ses effets, ses abus, ses avantages et l'utilité de son concours avec la médecine. 1842, 2 vol. in-8. 10 fr.

GAUTHIER (Aubin). **Revue magnétique,** journal des cures et des faits magnétiques et somnambuliques. Décembre 1844 à octobre 1846, 2 vol in-8. 8 fr.

Les numéros de mai, juin, juillet, août et septembre 1846 n'ont jamais été publiés ; ils forment, dans le tome IIe, une lacune des pages 241 à 432.

GAY-LUSSAC. **Cours de chimie professé à la Faculté des sciences.** Histoire des sels, la chimie végétale et animale. 1833, 2 vol. in-8. 5 fr.

GAY-LUSSAC. **Instruction sur l'essai des matières d'argent par la voie humide** ; suivie des documents officiels relatifs à la rectification en France, du mode d'essai des matières d'or et d'argent, généralement suivi en Europe. 1830-1832, 2 vol. in-4 avec 48 fig. 5 fr.

GELEZ. **Histoire générale des membranes séreuses et synoviales, des bourses muqueuses, des kystes,** sous le rapport de leur structure, de leurs fonctions, de leurs affections et de leur traitement. 1845, 1 vol. in-8. 3 fr.

GELY. **Etudes sur le cathétérisme curviligne et sur l'emploi d'une nouvelle sonde dans le cathétérisme évacuatif.** 1862, 1 vol. in-4 avec 97 planches. 7 fr.

GENDRIN. **De l'influence des âges sur les maladies.** 1840, in-8 1 fr.

GEOFFROY SAINT-HILAIRE. **Histoire naturelle des mammifères,** comprenant quelques vues préliminaires de l'histoire naturelle, et l'histoire des singes, des makis, des chauves-souris et de la taupe. 1834, 1 vol. in-8. 5 fr.

GEOFFROY SAINT-HILAIRE (Étienne). **Vie, travaux et doctrine scientifique**, par Isid. Geoffroy Saint-Hilaire. 1 vol. in-12. 3 fr. 50
— Le même. 1 vol. in-8. 5 fr.

GERVAIS (Paul). **Zoologie.** Reptiles vivants et fossiles. 1869, gr. in-8 avec 19 planches gravées. 7 fr.

GIACOMINI. **Large communication entre la veine porte et les veines iliaques droites**, traduit de l'italien. 1874, in-8. 2 fr. 50

GINTRAC (E.). **Observations et recherches sur la cyanose ou maladie bleue.** Paris, 1824, 1 vol. in-8. 4 fr. 50

GINTRAC (E.). **Mémoires et observations de médecine clinique et d'anatomie pathologique.** 1830, 1 vol. in-8, fig. 4 fr. 50

GINTRAC (E.). **Cours théorique et clinique de pathologie interne et de thérapie médicale.** 1853-1859, tomes I à IX, gr. in-8. 63 fr.
Les tomes IV et V se vendent séparément. 14 fr.
Les tomes VI et VII (*Maladies du système nerveux*) se vendent séparément. 14 fr.
Les tomes VIII et IX (*Maladies du système nerveux*) (suite) se vendent séparément. 14 fr.

GINTRAC (E.). **Maladies de l'appareil nerveux** (extrait du *Cours de pathologie interne*). 4 vol. gr. in-8. 28 fr.

GINTRAC (E.). **Revue des maladies** observées dans les salles de clinique interne de l'hôpital Saint-André de Bordeaux, pendant l'année 1823. In-8. 3 fr. 50

GINTRAC (E.). **Fragments de médecine clinique** et d'anatomie pathologique. 1841, 1 vol. in-8. 3 fr. 50

GINTRAC (Henri). **Essai sur les tumeurs solides intra-thoraciques.** 1845, in-4. 1 fr. 50

GIRAUD-TEULON. **Œil schématique**, dimensions décuples. 1868, 1 tableau. 2 fr. 50

GOUBERT. **Manuel de l'art des autopsies cadavériques**, surtout dans ses applications à l'anatomie pathologique, précédé d'une lettre de M. le professeur Bouillaud. 1867, in-18 de 520 pages avec 145 fig. 6 fr.

GOUBERT ET WYROUBOFF. **La science vis-à-vis de la religion.** 1 fr.

GOUJON. **Étude d'un cas d'hermaphrodisme bisexuel imparfait chez l'homme.** 1872, in-8 avec 2 planches. 1 fr.

GOUPY. **Explication des tables parlantes**, des médiums, des esprits et du somnambulisme, suivie de la voyante de Prevorst. 1860, 1 vol. in-8. 6 fr.

GRAD. **Considérations sur les progrès et l'état présent des sciences naturelles.** 1874, in-8. 2 fr.

GRÉHANT. **Manuel de physique médicale.** 1869, 1 vol. gr. in-18 de 650 pages avec 469 fig. intercalées dans le texte. 7 fr.

GRÉHANT. **Tableaux d'analyse chimique**, conduisant à la détermination de la base et de l'acide d'un sel inorganique isolé, avec les couleurs caractéristiques des précipités. 1862, in-4, cart. 3 fr. 50

GRÉHANT. **Recherches physiques sur la respiration de l'homme.** 1864, in-8 de 46 pages avec 1 planche. 1 fr. 50

GRIMAUX (Édouard). **Chimie organique élémentaire.** 1 vol in-18 de 370 pages. 1872. 4 fr. 50

GRIMAUX (Édouard). **Chimie inorganique élémentaire.** 1874, 1 vol. in-18 avec fig. 5 fr.

GROVE (W. R.). **Corrélation des forces physiques,** traduit de l'anglais par M. Séguin aîné. 2e édition. 1868, in-8. 7 fr. 50

GUILLEMOT. **Étude sur l'arnica.** 1874, in-8. 1 fr.

GUILLOT (Natalis). **La lésion, la maladie** (thèse de concours pour la chaire de pathologie médicale). 1851, in-8. 1 fr. 50

GUINIER. **Essai de pathologie et de clinique médicales,** contenant des recherches spéciales sur la forme pernicieuse de la maladie des marais, la fièvre typhoïde, la diphthérie, la pneumonie, la thoracentèse chez les enfants, le carreau, etc. 1866, 1 fort vol. in-8. 8 fr.

GUISLAIN (J.). **Traité sur l'aliénation mentale et sur les hospices des aliénés.** Amsterdam, 1826, 2 vol. in-8 avec 12 pl. 5 fr.

HAMILTON. **Observations sur les avantages et l'emploi des purgatifs dans plusieurs maladies,** trad. de l'anglais par Lafisse. 1825. 1 vol. in-8. 2 fr.

HARTMANN. (E.-D.). **Le darwinisme,** ce qu'il y a de vrai et de faux dans cette doctrine. 1 vol. in-18, de la *Biblioth. de philosoph. contemporaine.* 2 fr. 50

HÉMEY (Lucien). **De la péritonite tuberculeuse.** 1867, in-8 de 90 pages. 2 fr.

HENRY (Ossian) père et fils. **Traité pratique d'analyse chimique des eaux minérales** potables et économiques, avec leurs principales applications à l'hygiène et à l'industrie. Considérations générales sur leur formation, leur thermalité, leur aménagement, etc. Fabrication des eaux minérales artificielles, etc. 1859, 1 vol. in-8 de 680 p. avec 131 fig. intercalées dans le texte. 12 fr.

HÉRARD ET CORNIL. **De la phthisie pulmonaire,** étude anatomo-pathologique et clinique. 1867, 1 vol. in-8 avec fig. dans le texte et pl. coloriées. 10 fr.

HILLAIRET (J. E.). **Notice sur l'empoisonnement par l'arsenic,** sur l'emploi de l'appareil de Marsh et des autres moyens de doser ce toxique. 1847, br. in-8. 1 fr.

HOUEL. **Manuel d'anatomie pathologique générale et appliquée,** contenant le catalogue et la description des pièces déposées au musée Dupuytren. 2e édition. 1862, 1 vol. in-18 de 930 pages. 7 fr.

HOUEL. **Des plaies et des ruptures de la vessie** (concours pour l'agrégation en chirurgie). 1857, in-8. 2 fr.

HOUEL. **Mémoire sur l'encéphalocèle congénitale.** 1859, in-8. 1 fr. 25

HUFELAND. **Manuel de médecine pratique,** fruit d'une expérience de cinquante ans, suivi de considérations pratiques sur la saignée, l'opium et les vomitifs, traduit de l'allemand par le docteur Jourdan. 2e édition corrigée et augmentée d'un Mémoire sur les fièvres nerveuses. 1848, 1 vol. in-8 de 750 pages. 8 fr.

HUTIN. **Examen pratique des maladies de matrice.** 1844, 1 vol. in-8. 4 fr.

HUTIN. **Étude de la stérilité chez la femme** (clinique de Plombières). 1859, in-8. 2 fr. 50

HYERNAUX. **Traité pratique de l'art des accouchements.** 1866, 1 vol. gr. in-8 avec fig. 10 fr.

ISAMBERT (E.). **Études chimiques, physiologiques et cliniques** sur l'emploi thérapeutique du chlorate de potasse, spécialement dans les affections diphthéritiques (croup, angine couenneuse, etc.). 1856, 1 vol. in-8. 2 fr. 50

ISAMBERT (E.). **Parallèle des maladies générales et des maladies locales.** 1866, in-8. 3 fr.

JAMAIN. **Nouveau traité élémentaire d'anatomie descriptive et de préparations anatomiques,** par M. le docteur Jamain, chirurgien des hôpitaux. 1867, 3e édition, 1 vol. grand in-18 de 928 pages avec 223 fig. intercalées dans le texte. 12 fr.
Avec figures coloriées. 40 fr.

JAMAIN. **Manuel de petite chirurgie** contenant les pansements, les médicaments topiques, les bandages, les appareils de fractures, etc. 1873, 5e édition, refondue. 1 vol. grand in-18 de 762 pages avec 438 fig. 8 fr.

JAMAIN et TERRIER. **Manuel de pathologie et de clinique chirurgicales.** 3e édit., tome I, 1 fort vol. in-18, 1876. 8 fr.

JAMAIN. **De l'exstrophie ou extroversion de la vessie.** 1845, in-4. 1 fr. 50

JAMAIN. **De l'hématocèle du scrotum.** 1853, in-12. 2 fr. 50

JAMAIN. **Archives d'ophthalmologie,** comprenant les travaux les plus importants sur l'anatomie, la physiologie, la pathologie, la thérapeutique et l'hygiène de l'appareil de la vision. 1853-1856, 6 vol. in-8. fig. 20 fr.

JAMAIN. **Des plaies du cœur** (thèse d'agrégation). 1857, in-8. 2 fr.

JAMAIN ET WAHU. **Annuaire de médecine et de chirurgie pratiques,** de 1846 à 1866, résumé des travaux pratiques les plus importants publiés en France et à l'étranger de 1845 à 1865. 21 vol. grand in-32. Chaque. 50 c.

JANET (Paul). **Le matérialisme contemporain,** 2e édition. 1875, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

JANET (Paul). **La crise philosophique :** MM. Taine, Renan, Littré, Vacherot. 1865, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

JANET (Paul). **Le cerveau et la pensée.** 1867, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

JANET (Paul). **Les causes finales.** 1 vol. in-8 de la *Bibliot. de philosop. contemp.* 10 fr.

JARJAVAY. **De l'influence des efforts sur la production des maladies chirurgicales.** 1847, in-8 de 72 pages. 1 fr. 25

JENNER. **De la non-identité du typhus et de la fièvre typhoïde,** ou recherches sur le typhus, la fièvre typhoïde, la fièvre à rechute (*Relapsing fever*) et la fièvre simple continue (*febricula*), traduit par M. le docteur Verhaeghe, chirurgien de l'hôpital civil d'Ostende. 1852-1853, 2 vol. in-8. 7 fr.

JOLY. **La génération spontanée.** Conférence faite à Paris, le 1er mars 1865. 50 c.

JORDAN (Joseph). **Traitement des pseudarthroses par l'autoplastie périostique.** 1860, 1 vol. in-4 avec 3 pl. 3 fr. 50

JOSAT. **De la mort et de ses caractères;** nécessité de réviser la législation des décès pour prévenir les inhumations précipitées ; ouvrage entrepris sous les auspices du gouvernement et couronné par l'Institut. 1854, 1 vol. in-8. 7 fr.

JOSAT. **Recherches historiques sur l'épilepsie.** 1856, in-8. 2 fr.

JOUSSET DE BELLESME. **Recherches expérimentales sur la digestion des insectes**, et de la blatte en particulier. 1 vol. in-8, 1876. 3 fr.

Journal de l'anatomie et de la physiologie normales et pathologiques, etc., dirigé par M. le professeur Ch. Robin et M. G. Pouchet. Voy. page 37.

LABORDE. **Les hommes et les actes de l'insurrection de Paris, devant la psychologie morbide.** 1871, 1 vol. in-18 de 150 pages. 2 fr. 50

LABORDE. **De la malignité dans les maladies.** 1872, in-8 (thèse d'agrégation). 2 fr. 50

LACROIX (E.). **Antéversion et rétroversion de l'utérus.** 1844, in-8. 2 fr.

LAFONTAINE. **L'art de magnétiser**, ou le magnétisme animal considéré sous les points de vue théorique, pratique et therapeutique. 1860, 3e édit. 1 vol. in-8, avec fig. 5 fr.

LAFONTAINE. **Mémoires d'un magnétiseur.** 1866, 2 vol. in-18. 7 fr.

LAFONT-GOUZI. **Traité du magnétisme animal**, considéré sous les rapports de l'hygiène, de la médecine légale et de la thérapeutique, 1839, in-8, br. 3 fr.

LAHILONNE. **Essai de critique médicale**, Pau et ses environs au point de vue des affections paludéennes. 1867, gr. in-8. 2 fr.

LAHILONNE. **Étude de météorologie médicale au point de vue des voies respiratoires.** 1869. 2 fr. 50

LALA. **Quelques considérations sur les affections appartenant ou se rattachant à la famille des cancers.** 1861, broch. in-8. 1 fr. 50

LANCEREAUX. **Traité théorique et pratique de la syphilis**, 2e édition, 1874, gr. in-8 avec figures et planches coloriées. 17 fr.

LANDAU. **Théorie et traitement de la glycosurie.** 1864, in-8. 1 fr. 50

LANOIX. **Étude sur la vaccination animale.** 1866, in-8 de 56 pages. 2 fr.

LAUGEL (Auguste). **Les problèmes de la nature.** 1864, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

LAUGEL (Auguste). **Les problèmes de la vie.** 1867, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

LAUGEL (Auguste). **Les problèmes de l'âme.** 1868, 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque d'histoire contemporaine.* 2 fr. 50

LAUGEL. **Les problèmes.** 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque de philosophie.* 1873. 7 fr. 50

LAUGEL (Auguste). **Les États-Unis pendant la guerre** (1861-1865). Souvenirs personnels. 1 vol. in-18 faisant partie de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 3 fr. 50

LAUGEL (Auguste). **La voix, l'oreille et la musique.** 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque d'histoire contemporaine.* 2 fr. 50

LAUSSEDAT. **La Suisse**, études médicales et sociales. 2e édition, suivie d'un travail nouveau sur *les stations sanitaires de la Suisse.* 1 vol. in-18 (1875). 3 fr. 50.

LE FORT. **La chirurgie militaire** et les Sociétés de secours en France et à l'étranger, par Léon Le Fort, professeur à la Faculté de médecine de Paris. 1872, 1 vol. in-8 avec gravures. 10 fr.

LE FORT. **Étude sur l'organisation de la médecine** en France et à l'étranger, 1874. In-8. 3 fr.

LE FORT. Voyez MALGAIGNE.

LEGRAND. **De l'analogie et des différences entre les tubercules et les scrofules.** 1849, 1 vol. in-8. 5 fr.

LEGRAND. **De l'action des préparations** d'or sur notre économie et plus spécialement sur les organes de la digestion et de la nutrition. 1849, in-8. 2 fr.

LEMOINE (Albert). **Le vitalisme et l'animisme de Stahl.** 1864. 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

LEMOINE (Albert). **De la physionomie et de la parole.** 1865, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

LEMOINE (Albert). **L'habitude et l'instinct.** 1 vol. in-18. 1875. 2 fr. 50

LEPORT. **Guide pratique pour bien exécuter,** bien réussir et mener à bonne fin l'opération de la cataracte par extraction supérieure. 1860, 1 vol. in-12. 3 fr.

LÉVI (Eliphas). Voy. ELIPHAS LÉVI.

LEYDIG. **Traité d'histologie comparée de l'homme et des animaux,** traduit de l'allemand par M. le docteur Lahilonne. 1 fort vol. in-8 avec 200 fig. dans le texte. 1866. 15 fr.

LHÉRITIER. **Des paralysies et de leur traitement par les eaux thermo-minérales de Plombières.** 1853. 1 vol. in-8. 5 fr.

LHÉRITIER. **Du rhumatisme et de son traitement** par les eaux thermo-minérales de Plombières. 1854, 1 vol. in-8. 5 fr.

LHÉRITIER ET HENRY. **Hydrologie de Plombières.** 1855, 1 vol. in-8. 3 fr. 50

LIEBIG. **Le développement des idées** dans les sciences naturelles, études philocopiques. 1867, in-8 de 42 pages. 1 fr. 25

LIEBREICH (Oscar). **L'hydrate de chloral;** traduit de l'allemand sur la 2e édition par Is. Levaillant. 1870, in-8 de 70 pages. 2 fr. 50

LIEBREICH (Richard). **Atlas d'ophthalmoscopie** représentant l'état normal et les modifications pathologiques du fond de l'œil, visibles à l'ophthalmoscope, composé de 12 planches contenant 57 figures tirées en chromolithographie, accompagnées d'un texte explicatif et dessinées d'après nature par le docteur Liebreich (de Berlin). 1870, 2e édition, 1 vol. in-folio. 30 fr.

Texte italien de cet atlas. 3 fr. 50

LIEBREICH (Richard). **Nouveau procédé d'extraction de la cataracte.** 1872, in-8 de 16 pages. 75 c.

LIOUVILLE (H.). **De la généralisation des anévrysmes miliaires.** Paris, 1871, 1 vol. in-8 de 230 pages et 3 planches comprenant 19 fig. 6 fr.

LIOUVILLE. **De l'abus en thérapeutique,** thèse d'agrégation. 1 vol. in-8. 2 fr. 50.

LŒWENBERG. **La lame spirale du limaçon de l'oreille** de l'homme et des mammifères. 1867, 1 vol. in-8. 2 fr.

LONGET. **Traité de physiologie.** 1873, 3e édition, 2e tirage, 3 forts vol. gr. in-8. 36 fr.

LONGET. **Tableaux de physiologie,** mouvement circulatoire de la matière dans les trois règnes, avec figures, 2e édition. 1874. 7 fr.

LORAIN. **L'assistance publique.** 1871, in-8. 1 fr.

LORAIN. **Jenner et la vaccine.** 1870, in-8. 1 fr. 25

LOTZE (Hermann). **Principes généraux de psychologie physiologique**, traduit de l'allemand par M. PENGON. 1 vol. in-18 de la *Biblioth. de philosop. contemp.*, 1876. 2 fr. 50

LUBANSKI. **Guide du poitrinaire** et de celui qui ne veut pas le devenir. 1873, 1 vol. in-18. 3 fr.

LUBBOCK. **L'homme préhistorique**, étudié d'après les monuments et les costumes retrouvés dans les différents pays de l'Europe, suivi d'une description comparée des mœurs des sauvages modernes, traduit de l'anglais par M. Ed. Barbier, avec 256 figures intercalées dans le texte, 1 beau vol. in-8. 2e édit., 1876, considérablement augmentée. et suivie d'une conférence de M. P. Broca sur les *Troglodytes de la Vezère.*

Prix : broché. 15 fr.
— cart. riche tranche doré. 18 fr.

LUBBOCK. **Les origines de la civilisation**, état primitif de l'homme et mœurs des sauvages modernes, traduit de l'anglais sur la troisième édition. 1 beau vol. in-8. 2e éd., 1877.

Prix : broché. 15 fr.
— relié. 18 fr.

LUYS. **Le cerveau et ses fonctions.** 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scient. intern.*, avec fig. 2e édition, 1876. Cart. 6 fr.

MACARIO. **Traitement moral de la folie.** 1843, in-4. 1 fr. 50

MACARIO. **Du sommeil, des rêves et du somnambulisme** dans l'état de santé et de maladie, précédé d'une lettre de M. le docteur Cerise. 1857, 1 vol. in-8. 5 fr.

MACARIO. **Des paralysies dynamiques ou nerveuses.** 1859, in-8. 2 fr. 50

MACARIO. **Leçons sur l'hydrothérapie**, professées à l'école pratique de médecine de Paris. 1871, 3e édit. 1 vol. in-18. 2 fr. 50

MACARIO. **De l'influence médicatrice du climat de Nice**, ou Guide des malades dans cette ville. 1862, 2e édit., 1 vol. in-18. 2 fr.

MACARIO. **Du rhumatisme et de la diathèse rhumatismale.** 1867, in-8 de 192 pages. 3 fr.

MACARIO. **Entretiens populaires sur la formation des mondes et les lois qui les régissent.** 1869. 1 vol. in-18. 2 fr. 25

MAGDELAIN. **Des kystes séreux et acéphalocystiques de la rate.** 1868, in-8. 2 fr.

MAHEUX. **Traité de la stérilité** chez la femme considérée particulièrement sous le rapport de ses causes et de son traitement. 1864, 1 vol. in-18. 2 fr. 50

MAHEUX. **Conseils aux femmes sur leurs maladies** et les soins particuliers que réclame leur santé. 1871, 1 vol. in-18 avec figures. 3 fr. 50

MAISONABE. **Orthopédie clinique sur les difformités dans l'espèce humaine**, accompagnée de mémoires. 1834, 2 vol. in-8 avec fig. 5 fr. 50

MALGAIGNE. **Manuel de médecine opératoire.** 8e édit., publiée par M. le professeur Léon Le Fort. I. les Opérations générales, 1874, 1 vol. in-18 avec 335 figures dans le texte. 7 fr.

MANDON. **Histoire critique de la folie instantanée**, temporaire, instinctive, ou étude philosophique, physiologique et légale des rapports de la volonté avec l'intelligence pour apprécier la responsabilité des fous instinctifs, des suicidés et des criminels. 3 fr. 50

MANDON. **De la fièvre typhoïde,** nouvelles considérations historiques, philosophiques et pratiques sur sa nature, ses causes et son traitement. 1864, 1 vol. in-8 de 412 pages. 6 fr.

MANDON. **Van Helmont,** sa biographie, histoire critique de ses œuvres. 1868, in-4. 6 fr.

MANUEL. **Essai sur l'organisation du service médical en France.** 1861. 1 vol in-8. 6 fr.

MAREY. **Du mouvement dans les fonctions de la vie,** cours professé au Collége de France pendant l'année 1867. 1 vol. in-8 avec 144 fig. dans le texte. 10 fr.

MAREY. **La machine animale.** 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scientifique internationale.* 2e édition, cartonnage anglais. 6 fr.

MARTIN SAINT-ANGE. **Circulation du sang chez le fœtus de l'homme.** 1837, 2e édit. augmentée, in-4 avec 15 figures coloriées. 1 fr. 50

MARX (Edmond). **De la fièvre typhoïde.** 1864, in-8 de 86 pages. 3 fr.

MAUDSLEY. **Le crime et la folie.** 1875, 2e édition, 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scientifique internationale.* Cartonné. 6 fr.

MAUNOURY ET SALAMON. **Manuel de l'art des accouchements,** à l'usage des élèves en médecine et des élèves sages-femmes. 1874, 3e édit. avec 115 figures dans le texte. 7 fr.

MELLEZ. **Esquisse d'une genèse de la terre et de l'homme,** recueillie dans les papiers du docteur Mellez et publiée par V. Poirel. 1871, 1 vol. in-8. 5 fr.

MENIÈRE. **Cicéron médecin,** étude médico-littéraire. 1862, 1 vol. in-18. 4 fr. 50

MENIÈRE. **Les consultations de madame de Sévigné.** Étude médico-littéraire. 1864, 1 vol. in-8. 3 fr.

MENIÈRE. **Les moyens thérapeutiques employés dans les maladies de l'oreille.** Thèse, 1868, gr. in-8. 2 fr.

MÉRAT. **Nouvelle flore des environs de Paris,** suivant la méthode naturelle, avec l'indication des vertus des plantes usitées en médecine. 1836, 4e édit., 2 vol. in-18. 5 fr.

MESMER. **Mémoires et aphorismes,** suivis des procédés de d'Eslon. Nouvelle édition avec des notes par J. J. A. Ricard. 1846, in-18. 2 fr. 50

MESTRE. **Essai sur l'éléphantiasis des Arabes,** observé en Algérie. 1864, in-8 de 104 pages avec 5 pl. lithographiées. 3 fr. 50

MEUNIER (Stanislas). **Lithologie terrestre et comparée** (roches, météorites). 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque des sciences naturelles.* 1870, 108 pages. 4 fr. 50

MEUNIER (Stanislas). **Recherches chimiques sur les oxydes métalliques.** 1867, gr. in-8. 2 fr.

MEUNIER (Victor). **Science et démocratie.** 1865-1866, 2 vol. in-18 de la *Bibliothèque d'histoire contemporaine.* 7 fr.

MIQUEL. **Lettres médicales d'un vétéran de l'école de Bretonneau à M. le professeur Trousseau,** pour mettre un terme à des erreurs relatives aux maladies éruptives et à la spécificité. 1867, 1 vol. in-8 de 440 pages. 7 fr.

MIRAULT. **Traité pratique de l'œil artificiel.** 1818, 1 vol. in-8 avec 23 fig. 2 fr.

MOLESCHOTT (J.). **La circulation de la vie,** lettres sur la physiologie en réponse aux Lettres sur la chimie de Liebig, traduit de l'allemand par M. le docteur Cazelles. 1865, 2 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 5 fr.

MORDRET (Ambr.). **État actuel de la vaccine considérée au point de vue pratique et théorique,** et dans ses rapports avec les maladies et la longévité (couronné par l'Académie de médecine de Madrid). 1854, in-8 de 160 pages. 2 fr.

MOREAU (Alexis). **Des grossesses extra-utérines.** 1853, 1 vol. in-8. 2 fr. 50

MOREAU (de Tours). **Traité pratique de la folie névropathique.** 1869, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

MOREL. **Traité des champignons** au point de vue botanique, alimentaire et toxicologique, orné de plus de 100 gr. 1865, 1 vol. in-18 de 300 pages. Fig. noires. 4 fr.

MOREL-LAVALLÉE. **De la luxation de l'épaule en haut.** 1858, in-8. 1 fr. 50

MOREL-LAVALLÉE. **Appareil en gutta-percha pour la fracture des mâchoires** et pour leur section et leur résection. 1862, broch. in-8 de 40 pages avec fig. 1 fr. 50

MOREL-LAVALLÉE. **Sur l'ostéite** et ses suites. Thèse de concours. 1847, in-8. 2 fr. 50

MOREL-LAVALLÉE. **Des rétractions accidentelles des membres,** 1845, in-8. 2 fr.

MOREL-LAVALLÉE. **Moyen nouveau et très-simple de prévenir la roideur et l'ankylose dans les fractures,** bandage articulé. 1860, in-8. 1 fr. 25

MOREL-LAVALLÉE. **De la coxalgie sur le fœtus** et de son rôle dans la luxation congénitale du fémur. 1861, in-8. 1 fr. 25

MOREL-LAVALLÉE. **Épanchements traumatiques de sérosité.** 1850, in-8. 2 fr.

MOREL-LAVALLÉE. **Sur les corps étrangers articulaires.** Thèse de concours, 1853. 3 fr.

MOREL-LAVALLÉE. **Des luxations compliquées.** Thèse de concours, 1851, in-4. 3 fr.

MOREL-LAVALLÉE. **Des décollements traumatiques de la peau** et des couches sous-jacentes. 1863, broch. in-8 de 80 pages. 2 fr.

MORIN. **Du magnétisme et des sciences occultes.** 1860, 1 vol. in-8. 6 fr.

MORIN. **Magnétisme.** M. Lafontaine et les sourds-muets, br. in-8. 75 c.

MOUGEOT (de l'Aube). **Itinéraire d'un ubiétiste à travers les sciences et la religion.** 1re partie, LES SCIENCES. 1 vol. in-18 de 458 pages, 1870. 3 fr. 50

MUNARET. **Le médecin des villes et des campagnes.** 1862, 3e édit., 1 vol. gr. in-18. 4 fr. 50

MUNARET. **Iconautographie de Jenner.** 1860, 1 vol. in-8. 2 fr. 50

NÉLATON. **De l'influence de la position dans les maladies chirurgicales** (concours de clinique chirurgicale). 1851, in-8. 2 fr.

NÉLATON. **Éléments de pathologie chirurgicale,** par M. A. Néla-

ton, membre de l'Institut, professeur de clinique à la Faculté de médecine, chirurgien de l'Empereur, etc.

Seconde édition complétement remaniée.

TOME PREMIER, rédigé par M. le docteur Jamain, chirurgien des hôpitaux. 1 fort vol. gr. in-8. 9 fr.

TOME SECOND, rédigé par le docteur Péan, chirurgien des hôpitaux. 1 for vol. gr. in-8, avec 288 fig. dans le texte. 13 fr.

TOME TROISIÈME, rédigé par M. le docteur Péan, 1 vol. gr. in-8 avec figures. 14 fr.

TOME QUATRIÈME 1re partie, rédigé par le docteur PÉAN. 1 vol. gr. in-8, avec figures dans le texte, 1876. 7 fr.

Les vol. suivants de la 1re édition sont encore en vente :

Tome II. 8 fr.
Tome III. 6 fr.
Tome IV. 6 fr.
Tome V. 9 fr.

NETTER. **Des cabinets ténébreux**, dans le traitement de l'héméralopie. 1862, br. in-8 de 60 pages. 2 fr.

NETTER. **Lettres sur la contagion.** Br. in-8 de 40 pages. 1 fr. 50

NICAISE. **Des lésions de l'intestin dans les hernies**. 1866, in-8 de 120 pages. 3 fr.

NICOD. **Traité sur les polypes** et autres carnosités du canal de l'urèthre et de la vessie, avec les meilleurs moyens de les détruire sans danger. 1835, 1 vol. in-8. 2 fr. 50

NIEMEYER. **Éléments de pathologie interne et de thérapeutique**, traduits de l'allemand, annotés par M. Cornil. 1873, 3e édition française, augmentée de notes nouvelles d'après la huitième édition allemande, 2 vol. in-8. 14 fr.

ODIER. **Recherches sur la loi d'accroissement des nouveau-nés**, constaté par le système des pesées régulières et sur les conditions d'un bon allaitement. 1868, 1 broch. gr. in-8 de 56 pages et 7 planches. 1 fr. 50

ODIER ET BLACHE. **Quelques considérations sur les causes de la mortalité des nouveau-nés** et sur les moyens d'y remédier. 1867, gr. in-8 de 30 pages et XI tableaux. 1 fr. 50

OLLIVIER (Clément). **Histoire physique et morale de la femme.** 1857, 1 vol. in-8. 5 fr.

OLLIVIER (Clément). **Influence des affections organiques sur la raison**, ou pathologie morale. 1867, in-8 de 244 pages. 4 fr.

OLLIVIER (d'Angers). **Traité des maladies de la moelle épinière** contenant l'histoire anatomique, physiologique, de ce centre nerveux chez l'homme. 1837, 3e édition, 2 vol. in-8 avec 27 fig. 5 fr.

ONIMUS. **De la théorie dynamique de la chaleur** dans les sciences biologiques. 1866, in-8. 3 fr.

ONIMUS ET LEGROS. **Traité d'électricité médicale**, recherches physiologiques et cliniques. Paris, 1872, 1 vol. in-8 de 802 pages avec 141 fig. intercalées dans le texte. 12 fr.

ONIMUS ET VIRY. **Étude critique des tracés** obtenus avec le cardiographe et le sphygmographe. 1866, in-8 de 75 pages. 2 fr.

ONIMUS ET VIRY. **Études critiques et expérimentales** sur l'occlusion des orifices auriculo-ventriculaires. 1865, in-18 de 60 pages. 1 fr. 25

OURGAUD. **Précis sur les eaux thermo-minérales à base de chaux**, de soude et de magnésie d'Ussat-les-Bains (Ariége), et rapport sur la saison thermale de 1859, avec plans et notes historiques. 1859, 1 vol. in-8. 2 fr.

PADIOLEAU (de Nantes). **De la médecine morale** dans le traitement des maladies nerveuses. (Ouvrage couronné par l'Académie de médecine en 1864). 1 vol. in-8 de 256 pages. 4 fr. 50

PAGET (James). **Leçons de Clinique chirurgicale**, traduit de l'anglais par le docteur L.-H. Petit, et précédé d'une Introduction de M. le professeur Verneuil. 1 vol. in-8. 8 fr.

PAQUET (F.). **La gutta-percha ferrée** appliquée à la chirurgie sur les champs de bataille et dans les hôpitaux. 1867, in-8. 1 fr. 50

PAULY. **Maladies de l'utérus**, d'après les leçons cliniques de M. Lisfranc, faites à l'hôpital de la Pitié. 1836, 1 vol. in-8. 4 fr.

PÉAN. Voyez Nélaton.

PÉAN. **Splénotomie**, observation d'ablation complète de la rate pratiquée avec succès; considérations pathologiques, chirurgicales et physiologiques, suivies d'un historique de la splénotomie fait par M. Magdelain, interne des hôpitaux de Paris. 1 fr.

PÉAN. **De la forcipressure** ou de l'application des pinces à l'hémostasie chirurgicale, leçons recueillies par MM. G. Deny et Exchaquet, internes des hôpitaux. In-8. 1875. 2 fr. 50

PÉAN. **Leçons de clinique chirurgicale** professées à l'hôpital Saint-Louis (1874 et 1er semestre 1875). 1 fort vol. in-8, avec fig. dans le texte et 4 pl. color. hors texte, 1876. 20 fr.

PELLETAN. **Clinique chirurgicale**, ou mémoires et observations de chirurgie clinique et sur d'autres objets relatifs à l'art de guérir. 1810, 3 vol. in-8, fig. 7 fr

PETTIGREW. **La locomotion chez les animaux**. 1874, 1 vol. in-8 avec figures, de la *Bibliothèque scientifique internationale*. Cartonné. 6 fr.

PHILIPS (J. P.). **Influence réciproque de la pensée**, de la sensation et des mouvements végétatifs. (Mémoire lu à la Société psychologique, suivi d'un rapport fait à la Société, par M. le docteur Buchez.) 1862, in-8. 1 fr.

PHILIPS (J. P.). **Cours théorique et pratique de braidisme**, ou hypnotisme nerveux, considéré dans ses rapports avec la psychologie, la physiologie et la pathologie, et dans ses applications à la médecine, à la chirurgie, à la physiologie expér mentale, à la médecine légale et à l'éducation. 1860, 1 vol. in-8. 3 fr. 50

PHILLIPS. **Traité des maladies des voies urinaires**. 1860, 1 fort vol. in-8 avec 97 fig. intercalées dans le texte. 10 fr.

PICOT. **De l'état de la science dans la question des maladies infectieuses**. 1872, in-8. 2 fr.

PICOT. **Recherches expérimentales sur l'inflammation suppurative** et le passage des leucocytes à travers les parois vasculaires. In-8 de 40 pages avec 4 planches. 2 fr.

PICOT. **Projet de réorganisation de l'instruction publique en France**. 1871, in-8 de 120 pages. 2 fr.

PINEL (Scipion). **Traité de pathologie cérébrale**, ou des maladies du cerveau. 1844, 1 vol. in-8. 4 fr.

POINTE. **Loisirs médicaux et littéraires**; recueils d'éloges historiques, de relations médicales de voyages, d'annotations diverses, etc., documents pour servir à l'histoire de Lyon. 1844, 1 vol. in-8. 3 fr.

PUYSÉGUR. **Mémoires pour servir à l'histoire et à l'établissement du magnétisme animal.** 1820, 3e édit., 1 vol. in-8. 6 fr.

PUYSÉGUR. **Du magnétisme animal** considéré dans ses rapports avec les diverses branches de la physique générale. 1820, 1 vol. in-8. 6 fr.

QUEVENNE ET BOUCHARDAT. **Du lait.** 1er fascicule : Instruction sur l'essai et l'analyse du lait (chimie légale); 2e fascicule: Du lait en général; des laits de femme, d'ânesse, de chèvre, de brebis, de vache en particulier. 1856, in-8. 6 fr.

RABUTEAU. **Étude expérimentale sur les effets physiologiques des fluorures et des composés métalliques en général.** 1867, in-8. 2 fr. 50

RABUTEAU. **Des phénomènes physiques de la vision.** 1869, in-4. 2 fr. 50

RANVIER. **Recherches expérimentales** au sujet de l'action du phosphore sur les tissus vivants, considérations sur la pathogénie des transformations graisseuses. Gr. in-8. 1 fr.

RANVIER ET CORNIL. Voy. CORNIL et RANVIER.

RANVIER ET CORNIL. **Contributions à l'étude du développement histologique des tumeurs épithéliales** (cancroïdes). In-8 de 16 pages. 50 c.

Rapport confidentiel sur le magnétisme animal et sur la conduite récente de l'Académie royale de médecine, adressé à la congrégation de l'Index, et traduit de l'italien du R. P. Scorbadie. 1839, in-8. 2 fr.

REMAK. **Application du courant constant au traitement des névroses**, leçons faites à l'hôpital de la Charité. 1865, in-8 de 41 pages. 1 fr. 50

REMY. **Essai d'une nouvelle classification de la famille des Graminées.** Première partie, les *genres*. 1861, 1 vol. in-8. 8 fr.

RENAULT DU MOTEY. **Mémoire sur les fractures des os du métacarpe.** 1854, in-4. 1 fr. 25

REQUIN. **Éléments de pathologie médicale.** 1845-1863, in-8, vol. I à III. 22 fr.

Le tome III se vend séparément. 6 fr.

Ces *éléments* forment la partie *médicale* de l'ouvrage de pathologie entrepris par MM. Requin et Nélaton.

L'auteur aborde d'abord la pathologie générale, puis la pathologie spéciale, qu'il divise en nosographie organique et nosographie étiologique.

En tête de chaque chapitre se trouve une bibliographie médicale contenant le nom et une courte analyse des opinions des auteurs qui ont écrit sur le même sujet. Viennent ensuite la synonymie, l'historique, la symptomatologie, les caractères anatomiques, l'étiologie, le diagnostic et la thérapeutique de chaque maladie.

REQUIN. **Généralité de la physiologie**; plan et méthode à suivre dans l'enseignement de cette science. 1831, in-4. 1 fr.

REQUIN. **Des prodromes dans les maladies.** 1840, in-8. 1 fr. 50

REQUIN. **Des purgatifs** et de leurs principales applications (thèse pour le concours de matière médicale). 1839, in-8. 1 fr. 25

REQUIN. **De la spécificité dans les maladies** (thèse pour la chaire de pathologie médicale). 1851, in-8. 1 fr. 25

Revue scientifique de la France et de l'étranger (Revue des Cours scientifiques, 2e série), publication hebdomadaire.

Prix.	Paris.	Un an.	20 fr.	— 6 mois.	12 fr.
	Dép.	—	25	— —	15
	Étrang.	—	30	— —	18

Revue mensuelle de médecine et de chirurgie, dirigée par MM. Charcot, Chauveau, Ollier, Parrot et Verneuil; secrétaires de la rédaction, MM. Lépine et Nicaise.

Prix.	Paris et Départements	20 francs.
	Étranger	23 —
	La livraison	2 —

REY. **Dégénération de l'espèce humaine** et sa régénération. 1863, 1 vol. in-8 de 226 pages. 3 fr.

RIBES (de Montpellier). **De l'anatomie pathologique,** considérés dans ses rapports avec la science des maladies. 1834, 2 vol. in-8. 7 fr.

RIBOT (Th.) **Revue philosophique** de la France et de l'étranger, paraissant tous les mois par livraisons de 6 à 7 feuilles, grand in-8 (1re année 1876).

Prix de l'abonnement, pour Paris 30 fr
— — pour les départements et l'étranger 33 fr.
Prix de la livraison 3 fr.

RICHE. **Chimie médicale et pharmaceutique.** 1873, 2e édition, 1 fort vol. in-18 avec 112 figures dans le texte. 8 fr.

RIGAUD. **De l'anaplastie des lèvres,** des joues et des paupières. 1841, 1 vol. in-8. 1 fr. 50

ROBERT (A.). **Des anévrysmes de la région sus-claviculaire.** 1842, in-8, 1 pl. 1 fr. 50

ROBERT. **Conférences de clinique chirurgicale** faites à l'Hôtel-Dieu de Paris pendant l'année 1858-1859, par M. A. C. Robert, chirurgien de l'Hôtel-Dieu, membre de l'Académie de médecine, etc., recueillies et publiées sous sa direction par le docteur A. Doumie. 1 vol. in-8 de 550 pages avec 4 pl. 5 fr.

ROBERT (A.). **Mémoire sur la nature de l'écoulement aqueux** très-abondant qui accompagne certaines fractures de la base du crâne. 1846, in-8. 1 fr.

ROBERT (A.). **Des affections granuleuses,** ulcéreuses et carcinomateuses du col de l'utérus. 1848, 1 vol. in-8 avec 6 figures coloriées. 1 fr. 50

ROBERT (A.). **Des amputations partielles et de la désarticulation du pied** (concours de médecine opératoire). 1850, in-8, 209 pages. 1 fr. 50

ROBERT (A.). **Des vices congénitaux de conformation des articulations** (concours de clinique chirurgicale). 1851, 1 vol. in-8 avec 2 fig. 1 fr. 50

ROBERT (A.). **Considérations pratiques sur les varices artérielles du cuir chevelu.** 1851, in-8. 1 fr.

ROBIN (Ch.). **Des éléments anatomiques et des épithéliums.** Anatomie et physiologie comparées. 1868, gr. in-8 à 2 colonnes. 4 fr. 50

ROBIN (Ch.). **Des tissus et des sécrétions,** anatomie et physiologie comparées. 1869, gr. in-18 à 2 colonnes. 4 fr. 50

ROBIN (Ch.). et POUCHET (G.). **Journal de l'anatomie et de la physiologie** normales et pathologiques de l'homme et des animaux, dirigé par M. le professeur Ch. Robin (de l'Institut), paraissant tous les deux mois par livraison de 7 feuilles gr. in-8 avec pl.

Prix de l'abonnement, pour la France. 20 fr.
— pour l'étranger. 24 fr.

Il y a douze années parues.

ROBIN (Ch.) ET BÉRAUD. **Éléments de physiologie de l'homme et des principaux vertébrés.** 1856-1857, 2 vol. gr. in-18 12 fr.

ROISEL. **Les atlantes.** Études antéhistoriques. 1874, in-8. 7 fr.

ROUGET (le Dr F.). **Traité pratique de médecine naturelle.** 2e édition, 1876, 1 vol. in-12. 4 fr.

RUFZ. **Enquête sur le serpent de la Martinique** (vipère fer-de-lance, bothrops lancéolé). 1860, 2e édition. 1 vol. in-8, fig. 5 fr.

SAIGEY. **La physique moderne.** 1868, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

SAISSET (Emile). **L'âme et la vie,** suivi d'une étude sur l'esthétique française. 1864, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

SAISSET (Emile). **Critique et histoire de la philosophie** (fragments et discours). 1864, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

SANDRAS ET BOURGUIGNON. **Traité pratique des maladies nerveuses.** 1860-61, 2e édit., entièrement refondue. 2 vol. in-8. 12 fr.

SANNÉ. **Étude sur le croup après la trachéotomie,** évolution normale, soins consécutifs, complications. 1869, 1 vol. in-8 de 280 pages. 4 fr.

SAPPEY. **Recherches sur l'appareil respiratoire des oiseaux.** 1847, 1 vol. gr. in-4 avec 12 fig. 2 fr.

SAUCEROTTE. **Tableau synoptique des races humaines,** montrant leur origine, leur distribution géographique, leurs caractères distinctifs, les peuples dérivés, avec figures coloriées. 4 fr.

SAUVAGE. **Zoologie. Des poissons fossiles.** 1860, gr. in-8 avec 1 pl. 3 fr. 50

SCHIFF. **Leçons sur la physiologie de la digestion,** faites au Muséum d'histoire naturelle de Florence. 1868, 2 vol. gr. in-8. 20 fr.

SCHMIDT (O). **Descendance et Darwinisme.** 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scientifique internationale.* 2e édit., 1876. Cartonné. 6 fr.

SCHUTZENBERGER. **Les fermentations,** avec figures dans le texte. 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scientifique internationale,* 2e édition, 1876, cartonné. 6 fr.

SCHWEIGGER. **Leçons d'ophthalmoscopie,** traduites de l'allemand par M. le docteur Herschell, avec 3 pl. lith. et des fig. dans le texte. 1865, in-8 de 144 pages. 3 fr. 50

SÉGUIN (aîné). **Mémoire sur l'aviation ou navigation aérienne.** 1866, gr. in-8. 1 fr. 25

SÉGUIN (aîné). **Réflexions sur l'hypothèse de Laplace,** relative à l'origine et la formation du système planétaire. 1867, in-4. 1 fr. 50

SÉGUIN (aîné). **Mémoire sur l'origine et la propagation de la force.** 1857, in-4. 2 fr. 50

SÉGUIN (aîné). **Mémoire sur les causes et sur les effets de la chaleur, de la lumière et de l'électricité.** 1865, gr. in-8. 3 fr. 50

SÉGUIN (aîné). **Considérations sur les lois qui président à l'accomplissement des phénomènes naturels**, rapportés à l'attraction newtonienne et basés sur la synthèse des actions moléculaires exposée dans les mémoires publiés jusqu'ici. 1861, gr. in-8. 1 fr.

SERRE. **Traité sur l'art de restaurer les difformités de la face** selon la méthode par déplacement, ou méthode française. 1842, 1 vol. in-8 et atlas in-4. 12 fr.

SERRE. **Traité pratique de la réunion immédiate** et de son influence sur les progrès récents de la chirurgie. 1837, 1 vol. in-8 avec 10 fig. 3 fr.

SICHEL. **Leçons cliniques sur les lunettes** et les états pathologiques consécutifs à leur usage irrationnel. 1848, 1 vol. in-8 de 148 pages. 2 fr.

SMEE. **Mon jardin**, géologie, botanique, histoire naturelle, culture, 1 vol. in-8 jésus, contenant 1300 gravures et 25 planches hors texte, 1876. Broché. 15 fr
Cartonnage riche, tranche dorée. 20 fr

SNELLEN. **Échelle typographique** pour mesurer l'acuité de la vision, par le docteur Snellen, médecin de l'hôpital néerlandais pour les maladies des yeux à Utrecht. 4 fr.

SŒLBERG-WELLS. Voy. WELLS.

SOUS. **Manuel d'ophthalmoscopie**. 1865, 1 vol. in-8 de 136 pages avec 2 pl. lithographiées. 4 fr.

SPENCER (Herbert). **Classification des sciences**, traduit de l'anglais sur la troisième édition par E. Réthoré. 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine*. 2 fr. 50

SPENCER (Herbert). **Premiers principes**. 1871, 1 vol. in-8, traduit de l'anglais par M. E. Cazelles. 10 fr.

SPENCER (Herbert). **Principes de psychologie**. Traduit de l'anglais par M. Th. Ribot et Espinas. 1874, 2 vol. in-8. 20 fr.

SPENCER (Herbert). **Introduction à la science sociale**. 1874, 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scientifique internationale*. Cart. 6 fr.

STANLEY JEVONS. **La monnaie et le mécanisme de l'échange**. 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scientifique inernationale*, 1876, cart. 6 fr.

TARDIEU. **Manuel de pathologie et de clinique médicales**. 1874. 4e édit., corrigée et très-augmentée. 1 vol. in-18. 8 fr.

TARDIEU. **Supplément au dictionnaire des dictionnaires de médecine français et étrangers**, publié sous la direction de Fabre. 1851, 1 vol. in-8. 6 fr.

TAULE. **Notions sur la nature et les propriétés de la matière organisée**. 1866, in-8. 3 fr. 50

TERRIER (Félix). **De l'œsophagotomie externe**. 1870, in-8. 3 fr. 50

TERRIER (Félix). **Des anévrysmes cirsoïdes** (thèse d'agrégation). In-8 de 158 pages. 3 fr.

THÉRY (de Langon). **Traité de l'asthme**. 1859, 1 vol. in-8. 5 fr.

THULIÉ. **La folie et la loi**. 1867, 2e édition, 1 vol. in-8 de 210 pages. 3 fr. 50

THULIÉ. **De la folie raisonnante du docteur Campagne**. 1870, in-8. 2 fr.

TISSANDIER. **Des sciences occultes et du spiritisme.** 1866, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

TYNDALL. **Les glaciers et les transformations de l'eau.** 1876. 1 vol. in-8 de la *Bib. scientifique internationale*, cart. 2e édition. 6 fr.

VACHEROT. **La science et la conscience.** 1870, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

VALCOURT (de). **Climatologie des stations hivernales du midi de la France** (Pau, Amélie-les-Bains, Hyères, Cannes, Nice, Menton). 1865, 1 vol. in-8. 3 fr.

VALCOURT (de). **Cannes et son climat.** 1869, 2e édit., 1 vol. in-18. 3 fr.

VAN BENEDEN. **Les commensaux et les parasites du règne animal.** 1875, 1 vol. in-8 avec fig., de la *Bibliothèque scientifique internationale,* cartonné. 6 fr.

VASLIN (L.). **Etudes sur les plaies par armes à feu.** 1872, 1 vol. gr. in-8 de 225 pages, accompagné de 22 pl. en lithog. 6 fr.

VELPEAU. **Leçons orales de clinique chirurgicale** faites à l'hôpital de la Charité, par M. le professeur Velpeau, recueillies et publiées par MM. les docteurs Jeanselme et P. Pavillon. 1840-1841. 3 vol. in-8. 15 fr.

VELPEAU. **Mémoires sur les anus contre nature dépourvus d'éperon,** et sur une nouvelle manière de les traiter. 1836, in-8. 1 fr.

VELPEAU ET BÉRAUD. **Manuel d'anatomie chirurgicale, générale et topographique,** par M. Velpeau, membre de l'Institut, professeur à la Faculté de médecine de Paris, et M. Béraud, chirurgien des hôpitaux. 1862, 1 vol. in-18 de 622 pages. 7 fr.

VÉRA. **Essais de philosophie hégélienne.** 1865, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

VÉRA. **Introduction à la philosophie de Hégel.** 1864, 1 vol. in-8, 2e édit. 6 fr. 50

VÉRA. **Logique de Hégel,** traduite pour la première fois et accompagnée d'une introduction et d'un commentaire perpétuel. 1874, 2e édit. 2 vol. in-8. 15 fr.

VÉRA. **Philosophie de la nature de Hégel,** traduite pour la première fois et accompagnée d'une introduction et d'un commentaire perpétuel. 1863-1865, 3 vol. in-8. 25 fr.

Les tomes II et III se vendent séparément, chaque. 8 fr. 50

VÉRA. **Philosophie de l'esprit de Hégel,** traduite pour la première fois et accompagnée de deux introductions et d'un commentaire perpétuel. 1870, 2 vol. in-8. 18 fr.

VÉRA. **Philosophie de la religion de Hégel,** traduit de l'allemand avec introduction et commentaire perpétuel. t. I, 1 vol. in-8, 1876, 10 fr

VERNEUIL. **Le système veineux** (anatomie et physiologie). Concours d'agrégation. 1853, 1 vol. in-8. 3 fr. 50

VERNEUIL. **Mémoires sur quelques points de l'anatomie du pancréas.** 1851, in-8. 1 fr. 25

VILETTE DE TERZÉ. **La vaccine,** ses conséquences funestes démontrées par les faits, l'observation, l'anatomie pathologique et l'arithmétique (réponse au Questionnaire anglais relatif à la vaccine). 1857, in-8. 3 fr.

VILLEMIN. **Mémoire sur le bouton d'Alep.** 1854, in-8 avec 4 fig. coloriées. 3 fr.

VILLEMIN. **Clinique médicale de Vichy**, pendant la saison de 1862. Br. in-8 de 42 pages. 1 fr. 25

VILLEMIN. **Des coliques hépatiques et de leur traitement par les eaux de Vichy.** 3e édition. 1874, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

VILLENEUVE. **De l'opération césarienne** après la mort de la mère, réponse à M. le docteur Depaul. 1862, br. in-8 de 160 pages. 2 fr. 50

VILLENEUVE fils. **Traitement chirurgical de la stérilité chez la femme.** 1867, gr. in-8 de 72 pages. 1 fr. 50

VIRCHOW. **Pathologie des tumeurs**, cours professé à l'Université de Berlin, traduit de l'allemand par le docteur Aronssohn.

Tome Ier. 1867, 1 vol. gr. in-8 avec 106 fig. 12 fr.
Tome II. 1869, 1 vol. gr. in-8 avec 74 fig. 12 fr.
Tome III. 1871, 1 vol. gr. in-8 avec 49 fig. 12 fr.
Tome IV, 1876 (1er fascicule) 1 gr. in-8 avec figures 4 fr. 50

VIRCHOW. **Des trichines, à l'usage des médecins et des gens du monde**, traduit de l'allemand avec l'autorisation de l'auteur par E. Onimus, élève des hôpitaux de Paris. 1864, in-8 de 55 pages e planche coloriée. 2 fr.

VITAL. **Rapport au conseil de santé des armées**, sur la situation générale du service médical dans la province de Constantine et sur le typhus qui a régné épidémiquement dans cette province en 1868. — Rapport à S. E. M. le ministre de la guerre sur l'inspection médicale de la province de Constantine en 1869. 1870, gr. in-8 de 150 pages. 3 fr. 50

VOGEL. **La photographie et la chimie de la lumière**, 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scient. intern.*, avec fig. Cart. 6 fr.

VOISIN (Félix). **De l'homme animal.** 1839, 1 vol. in-8. 5 fr.

VULPIAN. **Leçons de physiologie générale et comparée du système nerveux**, faites au Muséum d'histoire naturelle, recueillies et rédigées par M. Ernest Brémond. 1866, 1 fort vol. in-8. 10 fr.

VULPIAN. **Leçons sur l'appareil vaso-moteur** (physiologie et pathologie), recueillies par le Dr H. Carville. 2 vol. in-8. (1875). 18 fr.

VULPIAN (Paul). **Excursions de la Société géologique de France dans la Suisse, la Savoie et la Haute-Savoie.** 1 br. in-8. 1 fr. 50

WELLS (Sœlberg-). **Traité pratique des maladies des yeux.** Traduit de l'anglais. 1 fort vol. in-8 jésus de 772 pages avec un grand nombre de figures dans le texte. 15 fr.

WHITNEY. **La vie du langage.** 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scient. intern.* Cart. 6 fr.

ZIMMERMANN. **De la solitude**, des causes qui en font naître le goût, de ses inconvénients, de ses avantages, et son influence sur les passions, l'imagination, l'esprit et le cœur; traduit de l'allemand par M. Jourdan. Nouvelle édition. 1840, in-8. 3 fr. 50

REVUE
Politique et Littéraire
(Revue des Cours littéraires, 2e série.)

REVUE
Scientifique
(Revue des Cours scientifiques, 2e série.)

Directeurs : MM. Eug. YUNG et Ém. ALGLAVE

Prix d'abonnement :

Une seule revue séparément :

	Six mois.	Un an.
Paris.....	12 f.	20 f.
Départements...	15	25
Étranger.....	18	30

Les deux revues ensemble :

	Six mois.	Un an
Paris.....	20 f.	36 f.
Départements...	25	42
Étranger.....	30	50

Prix de chaque numéro : 50 centimes.

L'abonnement part du 1er juillet, du 1er octobre, du 1er janvier et du 1er avril de chaque année.

Chaque volume de la première série se vend : broché..... 15 fr.
relié..... 20 fr.
Chaque année de la 2e série, formant 2 vol., se vend : broché.. 20 fr.
relié.... 25 fr.

Port des volumes à la charge du destinataire.

Prix de la collection de la première série :

Prix de la collection complète de la *Revue des cours littéraires* ou de la *Revue des cours scientifiques* (1864-1870), 7 vol. in-4... 105 fr.

Prix de la collection complète des deux *Revues* prises en même temps, 14 vol. in-4..... 182 fr.

Prix de la collection complète des deux séries :

Revue des cours littéraires et *Revue politique et littéraire*, ou *Revue des cours scientifiques* et *Revue scientifique* (décembre 1863 — janvier 1877), 18 vol. in-4 ..... 215 fr.

La *Revue des cours littéraires* et la *Revue politique et littéraire*, avec la *Revue des cours scientifiques* et la *Revue scientifique*, 36 volumes in-4 ..... 382 fr.

REVUE PHILOSOPHIQUE
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

Paraissant tous les mois depuis le 1er janvier 1876 par livraisons de 6 à 7 feuilles

Directeur : M. Th. RIBOT

PRIX DE L'ABONNEMENT :

	Un an
Pour Paris.....	30 fr.
Pour les départements et l'étranger.....	33 fr.
Prix de la livraison.....	3 fr.

REVUE HISTORIQUE

Paraissant tous les deux mois, par livraisons de 15 à 16 feuilles.

Directeurs : MM. Gabriel MONOD et Gustave FAGNIEZ

PRIX DE L'ABONNEMENT :

	Un an
Pour Paris.....	30 fr.
Pour les départements et l'étranger.....	33 fr.
Prix de la livraison.....	6 fr.

REVUE MENSUELLE

DE MÉDECINE ET DE CHIRURGIE

FONDÉE ET DIRIGÉE

PAR MM.

CHARCOT
Professeur à la Faculté de médecine de Paris.

CHAUVEAU
Directeur de l'École vétérinaire de Lyon.

OLLIER
Ex-chirurgien en chef de l'Hôtel-Dieu de Lyon.

PARROT
Professeur à la Faculté de médecine de Paris.

VERNEUIL
Professeur à la Faculté de médecine de Paris.

LÉPINE ET **NICAISE**
Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris.

Secrétaires de la rédaction.

1re ANNÉE (1877).

Bénéficier des acquisitions dues à l'emploi de la méthode expérimentale, sans abandonner cependant la voie traditionnelle de l'observation; essayer de devenir plus exacte en s'appropriant quelques-uns des procédés ou des instruments usités en physique et en chimie, mais en évitant l'écueil d'une fausse précision; entrer de plain-pied dans le mouvement scientifique moderne, et toutefois ne pas rompre ses attaches avec le passé; telle est, si nous ne nous trompons, la tendance de la Médecine de notre temps.

La *Revue mensuelle* s'efforcera de suivre cette direction.

Elle publiera :

1° Des *Travaux originaux* de pathologie générale, de pathologie et de cliniques médicales, de chirurgie générale, de physiologie pathologique, de pathologie expérimentale et comparée, etc.;

2° Des *Revues critiques;*

3° Des *Analyses critiques* des livres nouveaux et des périodiques français et étrangers.

La *Revue mensuelle de médecine et de chirurgie* paraîtra le 1er de chaque mois, à partir du 1er janvier 1877, par livraisons de 8 feuilles grand in-8, de façon à former, à la fin de l'année, 1 fort volume de 700 à 800 pages.

CONDITIONS DE LA SOUSCRIPTION.

Un an, pour la France. . . . . 20 fr.
— pour l'Etranger . . . . . 23 fr.
La livraison. . . . . 2 fr.

Nous prions les personnes qui voudront s'abonner à notre Recueil de nous transmettre le plus tôt possible leur adhésion.

S'adresser pour les abonnements et la rédaction :

A MM. GERMER BAILLIÈRE et Cie
8, place de l'Odéon, 8

BIBLIOTHÈQUE DE L'ÉTUDIANT EN MEDECINE

COLLECTION D'OUVRAGES POUR LA PRÉPARATION AUX EXAMENS DU DOCTORAT, DU GRADE D'OFFICIER DE SANTÉ, ET AU CONCOURS DE L'EXTERNAT ET DE L'INTERNAT.

Premier examen.

BÉRAUD et ROBIN. — MANUEL DE PHYSIOLOGIE de l'homme et des principaux vertébrés, répondant à toutes les questions physiologiques du programme des examens de fin d'année. 2e édition, 2 vol. gr. in-18. 12 fr.

BERNARD (Claude). — LEÇONS SUR LES PROPRIÉTÉS DES TISSUS VIVANTS, faites à la Sorbonne, recueillies par M. *Émile Alglave*. 1865, 1 vol. in-8, avec 90 fig. dans le texte. 8 fr.

GOUBERT. — MANUEL DE L'ART DES AUTOPSIES CADAVÉRIQUES, surtout dans ses applications à l'anatomie pathologique, précédé d'une lettre de M. le professeur *Bouillaud*. 1867, 1 vol. in-8 de 500 pages, avec 145 figures dans le texte. 6 fr.

JAMAIN. — NOUVEAU TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE D'ANATOMIE DESCRIPTIVE ET DE PRÉPARATIONS ANATOMIQUES. 1867, 3e édition, 1 vol. gr. in-18, avec 223 fig. dans le texte. 12 fr.

LONGET. — TRAITÉ DE PHYSIOLOGIE. 1873. 2e édition, 3 vol. gr. in-8. 36 fr.

VULPIAN. — LEÇONS SUR LA PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE ET COMPARÉE DU SYSTÈME NERVEUX, faites au Muséum d'histoire naturelle, recueillies par M. *Ernest Brémond*. 1 fort vol. in-8, 1866. 10 fr.

Deuxième et cinquième examens.

BILLROTH. — TRAITÉ DE PATHOLOGIE CHIRURGICALE GÉNÉRALE, traduit de l'allemand, précédé d'une introduction par M. *Verneuil*. 1 fort vol. grand in-8, avec 100 fig. dans le texte. 14 fr.

CORNIL et RANVIER. — MANUEL D'HISTOLOGIE PATHOLOGIQUE.

Première partie, *Anatomie pathologique générale*. 1 vol. in-18, avec 168 figures dans le texte. 4 fr. 50

Deuxième partie, *Lésions des tissus et des systèmes*. 1 vol. in-18, avec fig. dans le texte. 4 fr. 50

GINTRAC. — COURS THÉORIQUE ET PRATIQUE DE PATHOLOGIE INTERNE ET DE THÉRAPIE MÉDICALE. 9 vol. in-8. 63 fr.

Chaque volume se vend séparément.

HOUEL. — MANUEL D'ANATOMIE PATHOLOGIQUE GÉNÉRALE ET APPLIQUÉE, contenant la *description* et le *catalogue* du Musée Dupuytren. 2e édition, 1862, 1 vol. grand in-18. 7 fr.

JAMAIN. — MANUEL DE PETITE CHIRURGIE, 5e édition refondue. 1873, 1 vol. gr. in-18, avec 450 figures. 8 fr.

JAMAIN et TERRIER. — MANUEL DE PATHOLOGIE ET DE CLINIQUE CHIRURGICALES. 1876, 3e édition. (*Sous presse.*)

MALGAIGNE. — MANUEL DE MÉDECINE OPÉRATOIRE. 1873, 8e éd., avec de nombreuses fig. dans le texte. 1 vol. gr. in-18. 7 fr.

NÉLATON. — ÉLÉMENTS DE PATHOLOGIE CHIRURGICALE. 2e édition, 1868.

Tome premier, rédigé par le docteur *Jamain*. 9 fr.

Tome deuxième, rédigé par le docteur *Péan*. 13 fr.

Tome troisième, rédigé par M. *Péan*. 1 vol. in-8, avec figures. 14 fr.

Tome quatrième, rédigé par M. *Péan*, 1re partie. 1 vol. in-8 avec fig. 7 fr.

NIEMEYER. — ÉLÉMENTS DE PATHOLOGIE INTERNE, traduits de l'allemand, annotés par M. *Cornil*. 1873, 3e édition française, 2 vol. grand in-8. 14 fr.

TARDIEU. — MANUEL DE PATHOLOGIE ET DE CLINIQUE MÉDICALES. 1873, 1 fort vol. grand in-18, 4e édition. 8 fr.

VELPEAU et BÉRAUD. — MANUEL D'ANATOMIE CHIRURGICALE, GÉNÉRALE ET TOPOGRAPHIQUE. 3e édit., 1862, 1 vol. in-18 de 810 pages. 7 fr.

Troisième examen.

BOCQUILLON. — MANUEL D'HISTOIRE NATURELLE MÉDICALE. 1871, 1 vol. gr. in-18, en 2 parties, avec 415 fig. 14 fr.

GRÉHANT. — MANUEL DE PHYSIQUE MÉDICALE. 1 vol. gr. in-18, avec 469 fig. dans le texte. 7 fr.

RICHE. — MANUEL DE CHIMIE MÉDICALE. 1873, 3e édit., 1 vol. in-18, avec 200 fig. dans le texte. 8 fr.

GRIMAUX. — CHIMIE ORGANIQUE ÉLÉMENTAIRE, leçons professées à la Faculté de médecine. 1872, 1 vol. in-18. 4 fr. 50

GRIMAUX. — CHIMIE INORGANIQUE ÉLÉMENTAIRE. 1874, 1 vol. in-18 avec fig. 5 fr.

Quatrième examen.

BINZ. — ABRÉGÉ DE MATIÈRE MÉDICALE ET DE THÉRAPEUTIQUE, traduit de l'allemand par MM. Alquier et Courbon. 1872, 1 vol. in-12 de 335 p. 2 fr. 50

BOUCHARDAT. — MANUEL DE MATIÈRE MÉDICALE, DE THÉRAPEUTIQUE ET DE PHARMACIE. 1873, 5e édition, 2 vol. 16 fr.

CORNIL. — LEÇONS ÉLÉMENTAIRES D'HYGIÈNE PRIVÉE. 1873, 1 vol. in-18. 2 fr. 50

DESCHAMPS. — MANUEL DE PHARMACIE ET ART DE FORMULER. 3 fr. 50

TAYLOR. — MANUEL DE MÉDECINE LÉGALE, traduit de l'anglais. 1 vol. in-18 avec fig. (*Sous presse.*)

Cinquième examen.

MAUNOURY et SALMON. — MANUEL DE L'ART DES ACCOUCHEMENTS, précédé d'une description abrégée des fonctions et des organes du corps humain, et suivi d'un exposé sommaire des opérations de petite chirurgie les plus usitées, à l'usage des élèves sages-femmes qui suivent les cours départementaux. 1874, 3e édit., 1 vol. grand in-18, avec 115 fig. 7 fr.

BIBLIOTHÈQUE

DE

PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE

Volumes in-18 à 2 fr. 50 c.

Cartonnés : 3 fr.

H. Taine.

LE POSITIVISME ANGLAIS, étude sur Stuart Mill. 1 vol.
L'IDÉALISME ANGLAIS, étude sur Carlyle. 1 vol.
PHILOSOPHIE DE L'ART, 2e éd. 1 v.
PHILOSOPHIE DE L'ART EN ITALIE, 2e édition. 1 vol.
DE L'IDÉAL DANS L'ART. 1 vol.
PHILOSOPHIE DE L'ART DANS LES PAYS-BAS. 1 vol.
PHILOSOPHIE DE L'ART EN GRÈCE. 1 vol.

Paul Janet.

LE MATÉRIALISME CONTEMPORAIN. 2e édit. 1 vol.
LA CRISE PHILOSOPHIQUE. Taine, Renan, Vacherot, Littré. 1 vol.
LE CERVEAU ET LA PENSÉE. 1 vol.
PHILOSOPHIE DE LA RÉVOLUTION FRANÇAISE. 1 vol.

Odysse-Barot.

PHILOSOPHIE DE L'HISTOIRE. 1 vol.

Alaux.

PHILOSOPHIE DE M. COUSIN. 1 vol.

Ad. Franck.

PHILOSOPHIE DU DROIT PÉNAL. 1 vol.
PHILOSOPHIE DU DROIT ECCLÉSIASTIQUE. 1 vol.
LA PHILOSOPHIE MYSTIQUE EN FRANCE AU XVIIIe SIÈCLE. 1 vol.

Charles de Rémusat.

PHILOSOPHIE RELIGIEUSE. 1 vol.

Émile Saisset.

L'AME ET LA VIE, suivi d'une étude sur l'Esthétique franç. 1 vol.
CRITIQUE ET HISTOIRE DE LA PHILOSOPHIE (frag. et disc.). 1 vol.

Charles Lévêque.

LE SPIRITUALISME DANS L'ART. 1 vol.
LA SCIENCE DE L'INVISIBLE. Étude de psychologie et de théodicée. 1 vol.

Auguste Laugel.

LES PROBLÈMES DE LA NATURE. 1 vol.
LES PROBLÈMES DE LA VIE. 1 vol.
LES PROBLÈMES DE L'AME. 1 vol.
LA VOIX, L'OREILLE ET LA MUSIQUE. 1 vol.
L'OPTIQUE ET LES ARTS. 1 vol.

Challemel-Lacour.

LA PHILOSOPHIE INDIVIDUALISTE. 1 vol.

L. Büchner.

SCIENCE ET NATURE, trad. de l'allem. par Aug. Delondre. 2 vol.

Albert Lemoine.

LE VITALISME ET L'ANIMISME DE STAHL. 1 vol.
DE LA PHYSIONOMIE ET DE LA PAROLE. 1 vol.
L'HABITUDE ET L'INSTINCT. 1 vol.

Milsand.

L'ESTHÉTIQUE ANGLAISE, étude sur John Ruskin. 1 vol.

A. Véra.

ESSAIS DE PHILOSOPHIE HEGÉLIENNE. 1 vol.

Beaussire.

ANTÉCÉDENTS DE L'HEGÉLIANISME DANS LA PHILOS. FRANÇ. 1 vol.

Bost.

LE PROTESTANTISME LIBÉRAL. 1 v.

Francisque Bouillier.

DU PLAISIR ET DE LA DOULEUR. 1 v.
DE LA CONSCIENCE. 1 vol.

Ed. Auber.

PHILOSOPHIE DE LA MÉDECINE. 1 vol.

Leblais.

MATÉRIALISME ET SPIRITUALISME, précédé d'une Préface par M. E. Littré. 1 vol.

Ad. Garnier.

DE LA MORALE DANS L'ANTIQUITÉ, précédé d'une Introduction par M. Prevost-Paradol. 1 vol.

Schœbel.

PHILOSOPHIE DE LA RAISON PURE. 1 vol.

Tissandier.

DES SCIENCES OCCULTES ET DU SPIRITISME. 1 vol.

J. Moleschott.

LA CIRCULATION DE LA VIE. Lettres sur la physiologie, en réponse aux Lettres sur la chimie de Liebig, trad. del'allem. 2 vol.

Ath. Coquerel fils.

ORIGINES ET TRANSFORMATIONS DU CHRISTIANISME. 1 vol.
LA CONSCIENCE ET LA FOI. 1 vol.
HISTOIRE DU CREDO. 1 vol.

Jules Levallois.

DÉISME ET CHRISTIANISME. 1 vol.

Camille Selden.

LA MUSIQUE EN ALLEMAGNE. Étude sur Mendelssohn. 1 vol.

Fontanès.

LE CHRISTIANISME MODERNE. Étude sur Lessing. 1 vol.

Saigey.

LA PHYSIQUE MODERNE. 1 vol.

Mariano.

LA PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE EN ITALIE. 1 vol.

Stuart Mill.

AUGUSTE COMTE ET LA PHILOSOPHIE POSITIVE, trad. del'angl. 1 vol.

Ernest Bersot.

LIBRE PHILOSOPHIE. 1 vol.

A. Réville.

HISTOIRE DU DOGME DE LA DIVINITÉ DE JÉSUS-CHRIST. 2e éd. 1 vol.

W. de Fonvielle.

L'ASTRONOMIE MODERNE. 1 vol.

C. Coignet.

LA MORALE INDÉPENDANTE. 1 vol.

E. Boutmy.

PHILOSOPHIE DE L'ARCHITECTURE EN GRÈCE. 1 vol.

Et. Vacherot.

LA SCIENCE ET LA CONSCIENCE. 1 v.

Ém. de Laveleye.

DES FORMES DE GOUVERNEMENT. 1 vol.

Herbert Spencer.

CLASSIFICATION DES SCIENCES. 1 v.
ESSAI SUR L'ÉDUCATION. 1 vol.

Gauckler.

LE BEAU ET SON HISTOIRE. 1 v.

Max Müller.

LA SCIENCE DE LA RELIGION. 1 v.

Léon Dumont.

HAECKEL ET LA THÉORIE DE L'ÉVOLUTION EN ALLEMAGNE. 1 vol.

Bertauld.

L'ORDRE SOCIAL ET L'ORDRE MORAL. 1 vol.

Th. Ribot.

PHILOSOPHIE DE SCHOPENHAUER. 1 vol.

Al. Herzen.

PHYSIOLOGIE DE LA VOLONTÉ. 1 vol.

Bentham et Grote.

LA RELIGION NATURELLE. 1 vol.

Hartmann.

LA RELIGION DE L'AVENIR. 1 vol.
LE DARWINISME. 1 vol.

Schopenhauer

LE LIBRE ARBITRE. 1 vol.

ÉDITIONS ÉTRANGÈRES

Éditions anglaises.

AUGUSTE LAUGEL. The United States during the war. In-8. 7 shill. 6 p.
ALBERT RÉVILLE. History of the doctrine the deity of Jesus-Christ. 3 sh. 6 p.
H. TAINE. Italy (Naples et Rome). 7 sh. 6 p.
H. TAINE. The Philosophy of art. 3 sh.
PAUL JANET. The Materialism of present day. 1 vol. in-18, rel. 3 shill.

Éditions allemandes.

JULES BARNI. Napoleon I. in-18. 1 thal.
PAUL JANET. Der Materialismus unserer Zeit, 1 vol. in-18. 1 thal.
H. TAINE. Philosophie der Kunst, 1 vol. in-18. 1 thal.

BIBLIOTHÈQUE DE PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE

FORMAT IN-8

Volumes à 5 fr., 7 fr. 50 et 10 fr.

JULES BARNI. **La morale dans la démocratie.** 1 vol. 5 fr.

AGASSIZ. **De l'espèce et des classifications,** traduit de l'anglais par M. Vogeli. 1 vol. 5 fr.

STUART MILL. **La philosophie de Hamilton,** traduit de l'anglais par M. Cazelles. 1 fort vol. 10 fr.

STUART MILL. **Mes mémoires.** Histoire de ma vie et de mes idées. traduit de l'anglais par M. E. Cazelles. 1 vol. 5 fr.

STUART MILL. **Système de logique** déductive et inductive. Exposé des principes de la preuve et des méthodes de recherche scientifique, traduit de l'anglais par M. Louis Peisse. 2 vol. 20 fr.

STUART MILL. **Essais sur la Religion,** traduits de l'anglais, par M. E. Cazelles. 1 vol. 5 fr.

DE QUATREFAGES. **Ch. Darwin et ses précurseurs français.** 1 vol. 5 fr.

HERBERT SPENCER. **Les premiers principes.** 1 fort vol. traduit de l'anglais par M. Cazelles. 10 fr.

HERBERT SPENCER. **Principes de psychologie,** traduits de l'anglais par MM. Th. Ribot et Espinas. 2 vol. 20 fr.

HERBERT SPENCER. **Principes de biologie,** traduits par M. Cazelles. 2 vol. in-8. (*Sous presse.*)

AUGUSTE LAUGEL. **Les problèmes** (Problèmes de la nature, problèmes de la vie, problèmes de l'âme). 1 fort vol. 7 fr. 50

ÉMILE SAIGEY. **Les sciences au XVIIIe siècle,** la physique de Voltaire. 1 vol. 5 fr.

PAUL JANET. **Histoire de la science politique** dans ses rapports avec la morale, 2e édition, 2 vol. 20 fr.

PAUL JANET. **Les causes finales,** 1 vol in-8. 1876. 10 fr.

TH. RIBOT. **De l'Hérédité.** 1 vol. 10 fr.

TH. RIBOT. **La psychologie anglaise contemporaine,** 1 vol. 2e édition. 1875. 7 fr. 50

HENRI RITTER. **Histoire de la philosophie moderne,** traduction française, précédée d'une introduction par M. P. Challemel-Lacour, 3 vol. 20 fr.

ALF. FOUILLÉE. **La liberté et le déterminisme,** 1 v. 7 fr. 50

DE LAVELEYE. **De la propriété et de ses formes primitives,** 1 vol. 7 fr. 50

BAIN. **La logique inductive et déductive,** traduit de l'anglais par M. Compayré. 2 vol. 20 fr.

BAIN. **Des sens et de l'intelligence.** 1 vol. traduit de l'anglais par M. Cazelles. 10 fr.

BAIN. **Les émotions et la volonté,** 1 fort vol. (*Sous presse.*)

MATTHEW ARNOLD. **La crise religieuse.** 1 vol. in-8. 1876. 7 fr. 50

BARDOUX. **Les légistes et leur influence sur la société française.** 1 vol. in-8. 1877. 5 fr.

HARTMANN (E. DE). **La philosophie de l'inconscient,** traduite de l'allemand par M. D. Nolen, avec une préface de l'auteur écrite pour l'édition française. 2 vol. in-8. 1877. 20 fr.

HARTMANN (E. DE). **La philosophie allemande du XIXe siècle dans ses représentants principaux,** traduit de l'allemand par M. D. Nolen. 1 vol. in-8. (*Sous presse.*)

FLINT. **La philosophie de l'histoire,** traduit de l'anglais par M. Ludovic Carrau. 1 vol. in-8. (*Sous presse.*)

ENQUÊTE PARLEMENTAIRE
SUR
L'INSURRECTION DU 18 MARS

Rapport de la Commission. — Rapports des Sous-Commissions, de MM. les premiers présidents des Cours d'appel. — Rapports de MM. les préfets, de MM. les chefs de légion de gendarmerie. — Dépositions des témoins. — Pièces justificatives. — Table générale.

Édition populaire contenant *in extenso* les trois volumes distribués aux membres de l'Assemblée nationale.

Prix : **16** francs.

ENQUÊTE PARLEMENTAIRE SUR LES ACTES DU GOUVERNEMENT
DE LA DÉFENSE NATIONALE

DÉPOSITIONS DES TÉMOINS :

TOME PREMIER. Dépositions de MM. Thiers, maréchal Mac-Mahon, maréchal Le Bœuf, Benedetti, duc de Gramont, de Talhouët, amiral Rigault de Genouilly, baron Jérôme David, général de Palikao, Jules Brame, Clément Duvernois, Dréolle, etc.

TOME DEUXIÈME. Dépositions de MM. de Chaudordy, Laurier, Cresson, Dréo, Ranc, Rampont, Steenackers, Fernique, Robert, Schneider, Buffet, Lebreton et Hébert, Bellangé, colonel Alavoine, Gervais, Bécherelle, Robin, Mv'.er, Boutefoy, Meyer, Clément et Simonneau, Fontaine, Jacob, Lemaire, Petetin, Guyot-Montpayroux, général Soumain, de Legge, colonel Vabre, de Crisenoy, colonel Ibos, etc.

TOME TROISIÈME. Dépositions militaires de MM. de Freycinet, de Serres, le général Lefort, le général Ducrot, le général Vinoy, le lieutenant de vaisseau Farcy, le commandant Amet, l'amiral Pothuau, Jean Brunet, le général de Beaufort-d'Hautpoul, le général de Valdan, le général d'Aurelle de Paladines, le général Chanzy, le général Martin des Pallières, le général de Sonis, etc.

TOME QUATRIÈME. Dépositions de MM. le général Bordone, Mathieu, de Laborie, Luce-Villiard, Castillon, Debusschère, Darcy, Chenet, de La Taille, Baillehache, de Grancey, L'Hermite, Pradier, Middleton, Frédéric Morin, Thoyot, le maréchal Bazaine, le général Boyer, le maréchal Canrobert, etc. Annexe à la déposition de M. Testelin, note de M. le colonel Denfert, note de la Commission, etc.

TOME CINQUIÈME. Dépositions complémentaires et réclamations. — Rapports de la préfecture de police en 1870-1871. — Circulaires, proclamations et bulletins du Gouvernement de la Défense nationale. — Suspension du tribunal de la Rochelle ; rapport de M. de La Borderie ; dépositions.

ANNEXE AU TOME V. Deuxième déposition de M. Cresson. Événements de Nîmes, affaire d'Aïn Yagout. — Réclamations de MM. le général Bellot et Engelhart. — Note de la Commission d'enquête (1 fr.).

RAPPORTS :

TOME PREMIER. M. *Chaper* sur les procès-verbaux des séances du Gouvernement de la Défense nationale. — M. *de Sugny*, sur les événements de Lyon sous le Gouvernement de la Défense nationale. — M. *de Rességuier*, sur les actes du Gouvernement de la Défense nationale dans le sud-ouest de la France.

TOME DEUXIÈME. M. *Saint-Marc Girardin*, sur la chute du second Empire. — M. *de Sugny*, sur les événements de Marseille sous le Gouvernement de la Défense nationale.

TOME TROISIÈME. M. *le comte Daru*, sur la politique du Gouvernement de la Défense nationale à Paris.

TOME QUATRIÈME. M. *Chaper*, sur l'examen au point de vue militaire des actes du Gouvernement de la Défense nationale à Paris.

TOME CINQUIÈME. M. *Boreau-Lajanadie*, sur l'emprunt Morgan. — M. *de la Borderie*, sur le camp de Conlie et l'armée de Bretagne. — M. *de la Sicotière*, sur l'affaire de Dreux.

TOME SIXIÈME. M. *de Rainneville*, sur les actes diplomatiques du Gouvernement de la Défense nationale. — M. *A. Lallié*, sur les postes et les télégraphes pendant la guerre. — M. *Delsol*, sur la ligne du Sud-Ouest. — M. *Perrot*, sur la défense nationale en province. (1re *partie*.)

TOME SEPTIÈME. M. *Perrot*, sur les actes militaires du Gouvernement de la Défense nationale en province (2e *partie* : Expédition de l'Est).

TOME HUITIÈME. M. *de la Sicotière*, sur l'Algérie.

TOME NEUVIÈME. Algérie, dépositions des témoins. Table générale et analytique des dépositions des témoins avec renvoi aux rapports des membres de la commission (10 fr.).

TOME DIXIÈME. M. *Boreau-Lajanadie*, sur les actes du Gouvernement de la Défense nationale à Tours et à Bordeaux. (5 fr.).

PIÈCES JUSTIFICATIVES :

TOME PREMIER. Dépêches télégraphiques officielles, première partie.

TOME DEUXIÈME. Dépêches télégraphiques officielles, deuxième partie. Pièces justificatives du rapport de M. Saint-Marc Girardin.

Prix de chaque volume... **15** fr.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

16—